



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**VYUŽITÍ OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE PRO
ZÍSKÁVÁNÍ VODY**

USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR WATER RECOVERY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Patera

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

BRNO 2021

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Jan Patera

ID: 186553

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Využití obnovitelných zdrojů energie pro získávání vody

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem projektu je zmapovat systémy pro získávání vody nekonvenčními způsoby, především kondenzací vzdušné vlhkosti a to zejména v klimatických podmínkách ČR.

Doporučená osnova práce:

1. principy získávání vody ze vzdušné vlhkosti,
2. výběr vhodného vzorku a určení energetického potenciálu při využití obnovitelného zdroje energie,
3. perspektivy propojení obnovitelných zdrojů na systémy získávání, úpravu a nebo čištění vody, zejména pitné.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího bakalářské práce

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 1.6.2021

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá souhrnem základní teorie pro získávání vody ze vzdušné vlhkosti a její následnou úpravou s účelem splnění hygienických předpisů pitné vody. Jsou zde uvedeny základní principy využitelné k získávání vody ze vzduchu, uvádí základní principy včetně základního přehledu již existujících zařízení na získávání vody ze vzduchu. Definiuje ideální podmínky pro získání vody za využití atmosférických generátorů vody. V konkrétní lokalitě je stanoven návrh výtěžnosti vody s energetickou náročností v průběhu roku. Dále se práce věnuje využití obnovitelných zdrojů při získávání vody i možnosti její následné úpravy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Voda, kondenzace, vlhký vzduch, voda ze vzduchu, atmosférický generátor vody, energetická náročnost, úprava vody, pitná voda

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with a summary of the basic theory for obtaining water from air humidity and its following treatment in order to meet the hygienic regulations of drinking water. It presents the basic principles usable for obtaining water from the air, also presents the basic principles, including a basic overview of existing equipment for obtaining water from the air. It defines ideal conditions for obtaining water using atmospheric water generators. In a specific locality is determined a proposal for the water yield with energy performance during the year. Furthermore, the work deals with the use of renewable resources in obtaining water and the possibility of its subsequent treatment.

KEYWORDS

Water, condensation, humid air, water from air, atmospheric water generator, energy intensity, water treatment, drinking water

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PATERA, Jan. *Využití obnovitelných zdrojů energie pro získávání vody*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/134960>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Petr Baxant.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	Jan Patera
VUT ID studenta:	186553
Typ práce:	Bakalářská práce
Akademický rok:	2020/21
Téma závěrečné práce:	Využití obnovitelných zdrojů energie pro získávání vody

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 01. června 2021

podpis autora

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petru Baxantovi, Ph.D. za cenné rady nejen při zpracování mé bakalářské práce. Dále Filipu Mikulenkovi za rady ohledně atmosférických generátorů vody. A nakonec mé rodině za podporu při studiu.

V Brně dne: 01. června 2021

podpis autora

Obsah

ABSTRAKT	3
KLÍČOVÁ SLOVA.....	3
ABSTRACT	3
KEYWORDS	3
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	3
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK	11
ÚVOD.....	12
1 VODA.....	13
1.1 KOLOBĚH VODY V PŘÍRODĚ	13
1.2 ROZLOŽENÍ ZÁSOb VODY	13
1.3 KONDENZACE VZDUŠNÉ VLHKOSTI	14
1.3.1 Hlavní způsoby kondenzace	15
1.3.2 Zvýšení účinnosti kondenzace	15
2 VZDUCH	16
2.1 VLHKÝ VZDUCH.....	16
2.2 OBSAH VLHKOSTI VE VZDUCHU	16
2.3 VODNÍ PÁRA OBSAŽENÁ VE VZDUCHU	16
2.4 HLAVNÍ VZTAHY PLATÍCÍ PRO VLHKÝ VZDUCH	17
2.4.1 Stavová rovnice.....	17
2.4.2 Daltonův zákon	17
2.4.3 Ostwaldův zákon	17
2.4.4 Hmotnost vlhkého vzduchu	17
2.4.5 Tlak vzduchu v závislosti na nadmořské výšce.....	17
2.4.6 Absolutní vlhkost vzduchu.....	17
2.4.7 Relativní vlhkost vzduchu	18
2.4.8 Měrná vlhkost vzduchu	18
2.4.9 Měrná vlhkost nenasyceného vzduchu.....	19
2.4.10 Měrná vlhkost nasyceného vzduchu.....	19
2.4.11 Hustota vlhkého vzduchu.....	20
2.5 ENTALPIE VLHKÉHO VZDUCHU	20
2.6 TEPLOTA VZDUCHU	20
2.6.1 Teplota suchého teploměru.....	20
2.6.2 Teplota mokrého teploměru.....	21
2.6.3 Teplota rosného bodu.....	21
2.7 SDĚLENÉ TEPLo	21
3 TECHNOLOGIE ZÍSKÁVÁNÍ VODY	22
3.1 SILIKAGEL	22
3.2 GLYCEROL.....	23

3.3	TERMoelektrický jev	23
3.3.1	Seebeckův jev	23
3.3.2	Peltierův jev	23
3.3.3	Peltierův článek	23
3.4	PARNÍ CHLADICÍ OBĚHY	24
3.4.1	Kompresorový chladicí oběh	24
3.4.2	Absorpční chladicí oběh	24
4	ZAŘÍZENÍ NA ZÍSKÁVÁNÍ VODY ZE VZDUCHU	26
4.1	WEDEW	26
4.2	URAVU	26
4.3	NANOVLÁKNA	26
4.4	FONTUS	26
4.5	BILLBOARD V PERU	26
4.6	EOLE WATER	27
4.7	WATER SEER	27
4.8	VODNÍ HARFA	27
4.9	ZERO MASS WATER	27
4.10	S.A.W.E.R.	28
4.11	MAGDA	28
4.12	ODVLHČOVAČE VZDUCHU	28
4.12.1	DeLonghi DNC 65	28
4.12.2	DOMO DO342DH	29
4.13	ATMOSFÉRICKÉ GENERÁTORY VODY	29
4.13.1	Sharp – Skywell 5TE	30
4.13.2	Watergen	30
4.13.3	Canadian Dew	30
4.13.4	Query®Water	31
5	ECOONE EUROPE S.R.O.	32
5.1	PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI	32
5.2	VÝBĚR ZAŘÍZENÍ	32
5.3	TECHNICKÉ ÚDAJE	33
5.3.1	Technické parametry Query®Water 1000L	33
5.4	URČENÍ ENERGETICKÉHO POTENCIÁLU	34
5.4.1	Předpokládaná výtěžnost pro rok 2020	34
5.4.2	Předpokládaná výtěžnost pro rok 2019	37
5.5	NÁKLADY NA POŘÍZENÍ	39
5.6	SHRnutí V ČÍSLECH	39
6	ÚPRAVA VODY	40
6.1	VYHLÁŠKA Č. 252/2004 Sb. MINISTERSTVA ZDRAVOTNICTVÍ	40
6.2	OSMÓZA	40
6.3	REVERZNÍ OSMÓZA	40
6.4	STUPNĚ REVERZNÍ OSMÓZY	41
6.4.1	Sedimentační předfiltr	41
6.4.2	Uhlíkový filtr	41
6.4.3	Membrána reverzní osmózy	41
6.4.4	Uhlíkový post-filtr	41

6.4.5	<i>Mineralizátor</i>	41
6.4.6	<i>Deionizátor</i>	41
6.4.7	<i>UV lampa</i>	41
6.5	REMINERALIZACE A ÚPRAVA pH	42
6.6	DALŠÍ MOŽNOSTI ÚPRAVY VODY	42
6.6.1	<i>Himalájská růžová sůl</i>	42
6.6.2	<i>Sawyer</i>	42
7	PRAKTICKÁ ČÁST	43
7.1	SESTROJENÍ ARDUINO METEOSTANICE	43
7.2	VODNÍ HARFA	45
7.3	SILIKAGEL	45
7.4	GLYCEROL	46
7.5	KOMPRESOROVÉ CHLAZENÍ – MRAŽÁK	46
7.6	TERMoeLEKTRICKÉ CHLAZENÍ	46
7.6.1	<i>Autolednice INDEL FRIGOCAT 7L</i>	46
7.6.2	<i>Peltierův článek</i>	47
7.7	ODVLHČOVAČE VZDUCHU	48
7.7.1	<i>DeLonghi DNC 65</i>	48
7.7.2	<i>DOMO DO342DH</i>	48
7.8	VYHODNOCENÍ POKUSŮ	48
8	VYUŽITÍ OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ	50
	ZÁVĚR	52
	NÁVRH	53
	SEZNAM SYMBOLŮ, ZKRATEK A INDEXŮ	58
	SEZNAM PŘÍLOH	59

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1 Koloběh vody [3]	14
3.1 Možnosti využitelné k odvlhčení vzduchu [13]	22
3.2 Absorpční chladicí oběh [17]	25
5.1 Výtěžnost vody v jednotlivých měsících pro rok 2020	35
5.2 Spotřebovaná energie v jednotlivých měsících pro rok 2020	35
5.3 Spotřebovaná energie a množství vody získané v jednotlivých měsících pro rok 2020	36
5.4 Výtěžnost vody v jednotlivých měsících pro rok 2019	37
5.5 Spotřebovaná energie v jednotlivých měsících pro rok 2019	37
5.6 Spotřebovaná energie a množství vody získané v jednotlivých měsících pro rok 2019	38
7.1 Arduino meteostanice	44
7.2 Vodní harfa	45
7.4 Peltierův článek	47

SEZNAM TABULEK

2.1 Maximální možné hodnoty absolutní vlhkosti vzduchu při atmosférickém tlaku [9]	18
3.1 Vlastnosti glycerolu [15]	23
4.1 Technické parametry odvlhčovače DeLonghi [29]	29
4.2 Technické parametry odvlhčovače DOMO [30]	29
4.3 Technické parametry generátoru Sharp [32]	30
4.4 Technické parametry generátorů Canadian Dew [37]	30
5.1 Průměrná denní spotřeba vody na osobu [43]	33
5.2 Technické parametry generátoru Query®Water 1000L [44], [45]	33
5.3 Návrhová tabulka produkce vody za den [1] Query®Water 1000L [44]	34
5.4 Návrhová tabulka spotřeby energie na 1 l vody [kWh] Query®Water 1000L [44]	34
5.5 Pořizovací náklady Query®Water 1000L [47]	39
5.6 Shrnutí Query®Water 1000L	39
7.1 Parametry čidla Arduino DHT22 [55]	44
7.2 Parametry čidla Arduino BMP 180 [56]	44
7.3 Průměrné hodnoty počasí při měření vodní harfy	45
7.4 Průměrné hodnoty počasí při měření silikagelu	45
7.5 Průměrné hodnoty počasí při měření glycerolu	46
7.6 Průměrné hodnoty počasí při měření mrazáku	46
7.7 Hodnoty počasí při měření zavřeného mrazáku	46
7.8 Průměrné hodnoty počasí při měření autolednice	47
7.9 Průměrné hodnoty napájení a teploty autolednice	47
7.10 Průměrné hodnoty počasí při měření Peltierova článku	47
7.11 Průměrné hodnoty napájení a teploty Peltierova článku	47
7.12 Vyhodnocení vlastních pokusů	49

ÚVOD

Voda tvoří základ živých organismů a jednu ze základních lidských potřeb. Ani v dnešní pokročilé době není pitná voda samozřejmostí pro každého obyvatele světa. V méně vyspělých a přelidněných zemích konzumace znečištěné vody způsobuje vážná onemocnění, v krajních případech i smrt. Znečištěná voda přenáší vážné nemoci, bakterie a mikroorganismy. V rámci udržitelného rozvoje je potřeba zajistit dostatek pitných zdrojů, a stejně tak zdrojů závlahových.

Cílem této práce je zmapovat systémy získávání vody nekonvenčními způsoby a zhodnotit efektivitu zařízení na získávání vody. Nekonvenční způsob získávání vody by navíc měl být cenově přijatelný a funkčnost takového zařízení by měla být energeticky nenáročná.

Voda je všude kolem nás. Vodní pára je obsažena ve vzduchu, přičemž s rostoucí teplotou vzduchu roste i jeho schopnost pojmout větší množství vodní páry. Nabízí se možnost tuto vodu nechat zkondenzovat a upravit podle potřeby použití.

První kapitola se zabývá vodou, jejím skupenstvím, přirozeným koloběhem vody a rozložením zásob vody na Zemi. Druhá kapitola definuje vzdušnou vlhkost a vztahy mezi jednotlivými veličinami ovlivňujícími získávání vody. Třetí kapitola je věnována technologiím využitelným k získávání vody. Další kapitola je věnována již existujícím zařízením, která lze využít k získávání vody z ovzduší. V páté kapitole je popsáno určení energetické náročnosti procesu získání vody kompresorovým chlazením. Další část bakalářské práce se zabývá úpravou získané vody na pitnou. Pitná voda je zákonem definovaný pojem, konkrétně vyhláškou č. 252/2004Sb.

V praktické části bakalářské práce bude zkoumán objem získané vody a k tomu spotřebované energie pomocí následujících zařízení - silikagel, glycerol, mraznička, autolednice, Peltierův článek a odvlhčovače vzduchu. K zaznamenání údajů o počasí bude sestrojena a naprogramována Arduino meteostanice. Tyto jednotlivé projekty budou následně vyhodnoceny.

Poslední kapitola je věnována využití obnovitelných zdrojů pro získávání vody. Bude zodpovězena otázka náročnosti využití obnovitelných zdrojů. Voda, jakožto obnovitelný zdroj, se získává obtížně ze vzdušné vlhkosti, technicky jednodušší a energeticky méně náročné je vodu upravit do požadované kvality.

1 VODA

1.1 Koloběh vody v přírodě

Koloběh vody, jinak také hydrologický cyklus, zajišťuje stálý oběh podzemní a povrchové vody na Zemi. Hlavní hnací silou pro hydrologický cyklus je energie Slunce dopadající na zemský povrch, zemská gravitace a rotace Země. Cirkulace vody je doprovázena změnami jejího skupenství. Je závislá na počasí a klimatu dané oblasti [1].

Základní koloběh vody v přírodě je řazen do několika fází. Tyto fáze jsou: vypařování, kondenzace, srážení a tok vody. Při vypařování se voda vypařuje především z vodních ploch ve formě páry. Při kondenzaci vypařená voda mění skupenství na kapalné a shlukuje se do mraků. Při srážení padá voda ve formě kapek zpátky na zemský povrch. Tok vody je charakterizován stahováním padlé vody do řek, které pak ve velké míře ústí zpět do oceánů [1].

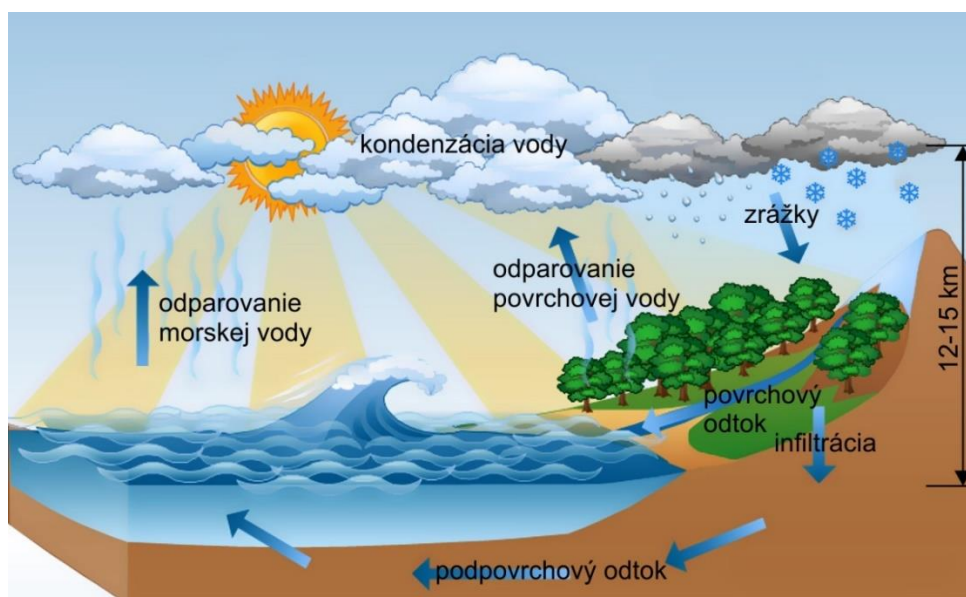
Základní koloběh vody se dělí na velký a malý koloběh. Přesun vody mezi pevninou a oceány se nazývá velký koloběh a přesun vody nad oceány a bezodtokovými oblastmi pevniny se nazývá malý koloběh [1].

1.2 Rozložení zásob vody

Povrch Země, při uvažování dělení na severní a jižní polokouli, je nerovnoměrně rozdělen z pohledu pevniny a oceánu. Na obou polokoulích převažuje rozloha oceánu, která tvoří 70,8 % povrchu Země [2].

Na Zemi je okolo 1386 mil. km³ vody, z čehož 1351 mil. km³ vody je slané a pouze 35 mil. km³ vody je sladké. Slaná voda je z 96,5 % soustředěna v oceánech a okrajových mořích. Využitelný podíl vody pro lidskou společnost je tedy pouhých 2,5 %. Největší zásoby sladké vody jsou soustředěny v pevninských ledovcích, v podpovrchové vodě, v řekách a jezerech [2].

V atmosféře zůstává 13 000 km³ vody, z čehož 75 % objemu zůstává nad oceány a 25 % objemu nad souší. Trvání atmosférického cyklu je odhadováno na 10 dní [2].



Obrázek 1.1 Koloběh vody [3]

1.3 Kondenzace vzdušné vlhkosti

Při kondenzaci dochází ke změně skupenství z plynného na kapalné. Kondenzace probíhá přirozenou konvekcí, kterou ovlivňuje gravitační síla, která na vzduch působí odlišně podle jeho teploty. Dále kondenzaci ovlivňuje vliv smykového napětí na povrchu kondenzátu, které je ovlivněno rychlostí strhávání kondenzátu a teplotní rozdíl na stěnách kondenzátoru [4].

Ke kondenzaci vodní páry ze vzduchu bude docházet, pokud bude mít ochlazovaný vzduch teplotu stejnou nebo nižší, než je teplota rosného bodu ochlazovaného vzduchu. Aby zkondenzovala vzdušná vlhkost, je třeba jí odebrat výparné teplo. Z toho vyplývá, že pokud není kondenzace žádoucím jevem ochlazování vzduchu, musí být tomuto vzduchu odebráno pouze takové teplo, které vzduch neochladí na nebo pod hodnotu jeho rosného bodu [4].

Vzduch dokáže navázat jen určité množství vodní páry, které je závislé na teplotě vzduchu. S rostoucí teplotou roste tato schopnost. Pokud klesá teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu narůstá, až dosáhne maximální hodnoty sytosti, kdy přebytečná vodní pára začne kondenzovat [4].

Proces kondenzace v kondenzátoru začíná tvorbou velmi malých kapek vody, tyto kapky se postupně shlukují a vzniká rovnoměrný film. Zkondenzovanou kapalinu označujeme za kondenzát [4].

1.3.1 Hlavní způsoby kondenzace

Rozeznáváme především kapkovou a filmovou kondenzaci. Kondenzační proces vodní páry na ochlazeném povrchu začíná tvorbou velmi malých kapek, které se v blízkosti postupně shlukují, až přejdou v souvislý film [4].

1.3.2 Zvýšení účinnosti kondenzace

Kondenzační film na kondenzátoru snižuje přenos tepla vedením z důvodu tepelného odporu kondenzačního filmu. Pro výměníky je tedy optimální kapková kondenzace. Zvýšit účinnost lze obecně úpravou povrchového napětí nebo odváděním kondenzátu z povrchu výměníku. Toho lze dosáhnout vhodným návrhem geometrie výměníku nebo jeho povrchovými úpravami, které zamezí setrvávání kondenzátu na stěnách. Další možností je zvýšení teplosměnné plochy výměníku. U plochých výměníků se používá žebrovaní, u válcovitých výměníků vlněním povrchu [4].

Povrchové úpravy můžeme dělit na hydrofilní a hydrofobní. Hydrofobní povrch vodu odpuzuje, hydrofilní ho naopak na sebe váže. Zvolíme-li tedy hydrofobní povrchovou úpravu výměníku, budou se tvořit pouze kapičky, které budou odtékat z povrchu pryč. Nevýhodou povrchových úprav je, že postupně ztrácí vlastnosti vlivem oxidace, znečištění nebo poškození. Řešení má tedy omezenou životnost, protože se po čase užívání film začne tvořit [4].

2 VZDUCH

Suchý čistý vzduch v atmosféře do výše asi 20 km je složen z dusíku N_2 (78,09 %), kyslíku O_2 (20,95 %), argonu Ar (0,93 %), oxidu uhličitého CO_2 (0,03 %), ve velmi malém zastoupení vodíku H_2 , ozonu O_3 a vzácných plynů, jako jsou například helium, neon, krypton, a xenon. Při tepelně technických výpočtech se často uvažuje vzduch se složením kyslíku o objemu 21 % a dusíku o objemu 79 % [5].

2.1 Vlhký vzduch

Atmosférický vzduch, který nás obklopuje, se považuje za vlhký vzduch. Vlhký vzduch je směsí vodní páry a suchého vzduchu. Voda je ve vzduchu obsažena ve formě kapalné a plyné. Kapalná forma může být např. mlha nebo déšť. Plyná forma je zastoupena sytou, či přehřátou vodní párou. Množství vodní páry ve vlhkém vzduchu závisí na teplotě vzduchu [4].

Pokud je ve vzduchu obsaženo maximální možné množství vodní páry, jedná se o stav nasycení absolutní vlhkostí o relativní vlhkosti vzduchu $\phi = 1$. Jestliže je ve vzduchu větší množství vlhkosti, než je v nasyceném stavu, nazývá se tento vzduch přesycený (mlhový) [4].

Vlhký vzduch v rozmezí teplot ($200 \div 500$) o tlaku ($0,1 \div 1,0$) MPa lze považovat za ideální plyn s odchylkou menší než 3 % [6].

2.2 Obsah vlhkosti ve vzduchu

Vlhký vzduch se dělí na:

- nenasyčený vlhkostí – s vodní párou
- nasycený vlhkostí – se sytou vodní párou
- přesycený vlhkostí – se sytou vodní párou a ještě:
 - pro $t > 0$ °C je obsažena vodní mlha ve formě kapiček
 - pro $t < 0$ °C je obsažena ledová mlha ve formě krystalů
 - pro $t = 0$ °C je obsažena vodní i ledová mlha [7]

2.3 Vodní pára obsažená ve vzduchu

Obecná vlastnost plynů je přesun z přetlaku do podtlaku. Stejně tak to platí i u vodní páry, která se pohybuje ve vzduchu. Obvykle bývá hustota vodní páry nejvyšší u povrchu země. Absolutní vlhkost vzduchu je dále závislá na nadmořské výšce, na zeměpisné poloze, na ročním období, na větru, na denní době a na svitu Slunce [4].

2.4 Hlavní vztahy platící pro vlhký vzduch

2.4.1 Stavová rovnice

Stavová rovnice ideálního plynu v obecném tvaru:

$$p \cdot V = m \cdot r \cdot T. \quad (2.1)$$

2.4.2 Daltonův zákon

Podle Daltonova zákona platí, že celkový tlak směsi plynů p je dán součtem dílčích parciálních tlaků jednotlivých složek p_i [5].

$$p = \sum_i p_i = p_{sv} + p_p \quad (2.2)$$

2.4.3 Ostwaldův zákon

Dle Ostwaldova zákona platí, že objem suchého vzduchu a vodní páry je roven objemu vlhkého vzduchu [4].

$$V = V_{sv} = V_p \quad (2.3)$$

2.4.4 Hmotnost vlhkého vzduchu

Hmotnost vlhkého vzduchu zahrnuje hmotnost suchého vzduchu a hmotnost vody ve všech třech možných skupenstvích [8].

$$m = m_{sv} + m_p + m_k + m_t \quad (2.4)$$

2.4.5 Tlak vzduchu v závislosti na nadmořské výšce

Tlak vzduchu v určité nadmořské výšce se určí podle následujícího vztahu, ve kterém je uvažována hustota vzduchu nad hladinou moře $\rho_0 = 1,225 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (při průměrné teplotě vzduchu 15°C nad hladinou) [4].

$$p = p_0 \cdot e^{\frac{-\rho_0 \cdot g \cdot H}{p_0}} \quad (2.5)$$

2.4.6 Absolutní vlhkost vzduchu

Absolutní vlhkost vzduchu udává množství vody ve vzduchu. Je definována jako součet hmotností vodní páry, kapalně vody a vody v pevné formě v objemové jednotce vzduchu [8].

$$\rho_{abs} = \frac{m_p + m_k + m_t}{V} \quad (2.6)$$

Dle Ostwaldova zákona platí $V = V_p$, pro nenasycený a nasycený vlhký vzduch pak platí:

$$m_k = m_t = 0. \quad (2.7)$$

Absolutní vlhkost je v tomto případě rovna hustotě vodní páry obsažené v 1 m³ vlhkého vzduchu [4].

$$\rho_p = \frac{m_p}{V} \quad (2.8)$$

Tabulka 2.1 Maximální možné hodnoty absolutní vlhkosti vzduchu při atmosférickém tlaku [9]

t (°C)	ρ_{abs} (g·m ⁻³)
0	4,8
5	6,8
10	9,4
15	12,8
20	17,3
25	23,0
30	30,4
35	39,6

2.4.7 Relativní vlhkost vzduchu

Relativní vlhkost vzduchu udává, do jaké míry je vzduch nasycen vodní párou, neboli v jakém stavu je vzduch ke stavu nasycení [4].

$$\phi = \frac{\rho_p}{\rho_p''} = \frac{p_p}{p_p''} \quad (2.9)$$

Pro suchý vzduch platí, že relativní vlhkost je rovna nule, pro vzduch nasycený vodní parou platí, že je relativní vlhkost rovna 1.

2.4.8 Měrná vlhkost vzduchu

Měrná vlhkost vzduchu udává hmotnost vodní páry, popřípadě vody v kapalném a tuhém skupenství, ve vlhkém vzduchu, obsažené v 1 kg suchého vzduchu. Měrná vlhkost se vztahuje na 1 kg suchého vzduchu, protože jeho hmotnost při úpravách vzduchu zůstává konstantní. Mění se pouze hmotnost vody. Pro měrnou vlhkost platí následující vztah udávaný v [g·kg_{sv}⁻¹] [4], [8]:

$$x = \frac{m_p + m_k + m_t}{m_{sv}} \quad (2.10)$$

2.4.9 Měrná vlhkost nenasyčeného vzduchu

Nenasycený vzduch je směs suchého vzduchu a přehřáté vodní páry, kde platí $\phi < 1$. Měrná plynová konstanta suchého vzduchu je rovna $287,1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ a pro vodní páru $461,5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ [4], [5] a [8].

$$\begin{aligned} x = x_p &= \frac{m_p}{m_{sv}} = \frac{V \cdot \rho_p}{V \cdot \rho_{sv}} = \frac{r_{sv} \cdot p_p}{r_p \cdot p_{sv}} = \frac{287,1}{461,5} \cdot \frac{p_p}{p_{sv}} = 0,6221 \cdot \frac{p_p}{p_{sv}} \\ &= 0,6221 \cdot \frac{p_p}{p - p_p} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Přepoččet mezi měrnou a relativní vlhkostí vzduchu [4], [8]:

$$x_p = 0,6221 \cdot \frac{\phi \cdot p_p''}{p - \phi \cdot p_p''} \quad (2.12)$$

2.4.10 Měrná vlhkost nasyceného vzduchu

Nasycený vzduch je směs suchého vzduchu a syté vodní páry, kde platí $\phi = 1$. Upravením předchozí rovnice dostaneme rovnici měrné vlhkosti nasyceného vzduchu ve tvaru [4]:

$$x_p'' = 0,6221 \cdot \frac{p_p''}{p - p_p''} \quad (2.13)$$

2.4.10.1 Měrná vlhkost přesyceného vzduchu pro $t > 0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Přesycený vzduch při této teplotě obsahuje směs suchého vzduchu, syté vodní páry a vodní mlhy [4].

$$x = \frac{m_p'' + m_k}{m_{sv}} = x_p'' + x_k \quad (2.14)$$

2.4.10.2 Měrná vlhkost přesyceného vzduchu pro $t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Přesycený vzduch při této teplotě obsahuje směs suchého vzduchu, syté vodní páry, vodní mlhy a ledové mlhy [4].

$$x = \frac{m_p'' + m_k + m_t}{m_{sv}} = x_p'' + x_k + x_t \quad (2.15)$$

2.4.10.3 Měrná vlhkost přesyceného vzduchu pro $t < 0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Přesycený vzduch při této teplotě obsahuje směs suchého vzduchu, syté vodní páry a ledové mlhy [4].

$$x = \frac{m_p'' + m_t}{m_{sv}} = x_p'' + x_t \quad (2.16)$$

2.4.11 Hustota vlhkého vzduchu

Hustota vlhkého vzduchu je dána součtem hustoty suchého vzduchu a hustoty vodní páry [4].

$$\rho = \rho_{sv} + \rho_p \quad (2.17)$$

Dosazením stavové rovnice do předešlého vztahu získáme [4]:

$$\rho = \frac{p_{sv}}{r_{sv} \cdot T} + \frac{p_p}{r_p \cdot T} = \frac{p - p_p}{r_{sv} \cdot T} + \frac{p_p}{r_p \cdot T} = \frac{1}{r_{sv} \cdot T} \cdot \left[p - p_p \cdot \left(1 - \frac{r_{sv}}{r_p} \right) \right]. \quad (2.18)$$

Dále dosazením měrných plynových konstant pro suchý vzduch a vodní páru [4]:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{287,1 \cdot T} \cdot (p - 0,3779 \cdot p_p) = \\ &= \frac{1}{287,1 \cdot T} \cdot (p - 0,3779 \cdot \phi \cdot p_p). \end{aligned} \quad (2.19)$$

Z rovnice vyplývá, že s rostoucím tlakem vodní páry, za stálé teploty T , klesá hustota vlhkého vzduchu.

2.5 Entalpie vlhkého vzduchu

Entalpie je stavová proměnná, která představuje množství tepla, které soustava přijme nebo odevzdá při změně za konstantního tlaku. Soustava nemůže konat jinou než objemovou práci.

Entalpií je možné popsat tepelné bilance vlhkého vzduchu. Při změně entalpie je možné vyjádřit množství sděleného tepla. Entalpie roste s teplotou a vlhkostí vzduchu [4].

Entalpie nenasyčeného vlhkého vzduchu je dána součtem entalpie suchého vzduchu a entalpií přehřáté vodní páry o dané měrné vlhkosti [4]:

$$I = I_{sv} + x_p \cdot I_p. \quad (2.20)$$

2.6 Teplota vzduchu

Teplota suchého teploměru, teplota mokrého teploměru a teplota rosného bodu jsou důležité pro určení stavu vlhkého vzduchu. Znalost dvou z těchto hodnot je dostatečná pro určení stavu vlhkého vzduchu, včetně obsahu vodní páry a entalpie vzduchu [10].

2.6.1 Teplota suchého teploměru

Teplota suchého teploměru se měří běžným teploměrem, který je chráněn před zářením a vlhkostí. Teploměr udává hodnotu teploty okolního vzduchu. Tento způsob měření se využívá nejčastěji [10].

2.6.2 Teplota mokrého teploměru

Teplota mokrého teploměru se měří podobně jako teplota suchého teploměru. Teploměr je obalen obvazem nasáklým destilovanou vodou. Teplota mokrého teploměru udává hodnotu teploty vzduchu, jaká by byla při jeho stoprocentní relativní vlhkosti. Voda se z obvazu postupně odpařuje, tím vzniká nucená konvekce proudu vzduchu. Rovnovážná teplota je zhruba v polovině mezi okolní teplotou a rosným bodem [10].

2.6.3 Teplota rosného bodu

Rosný bod je teplota, při které vodní pára obsažená ve vzduchu začíná kondenzovat. Pokud je teplota rosného bodu blízká teplotě suchého vzduchu, relativní vlhkost je vysoká. Pokud je rosný bod výrazně pod teplotou suchého vzduchu, relativní vlhkost je nízká. Teplota rosného bodu s narůstající nadmořskou výškou klesá [10].

Teplotu rosného bodu lze vypočítat [4]:

$$t_{rb} = c_2 \cdot \frac{\ln\left(\frac{\phi}{100}\right) + \frac{c_1 \cdot t}{c_2 + t}}{c_1 - \ln\left(\frac{\phi}{100}\right) - \frac{c_1 \cdot t}{c_2 + t}}, \quad (2.21)$$

kde c_1 a c_2 jsou konstanty pro danou teplotu [4]:

$t > 0\text{ °C}$: $c_1 = 17,081$; $c_2 = 234,2$.

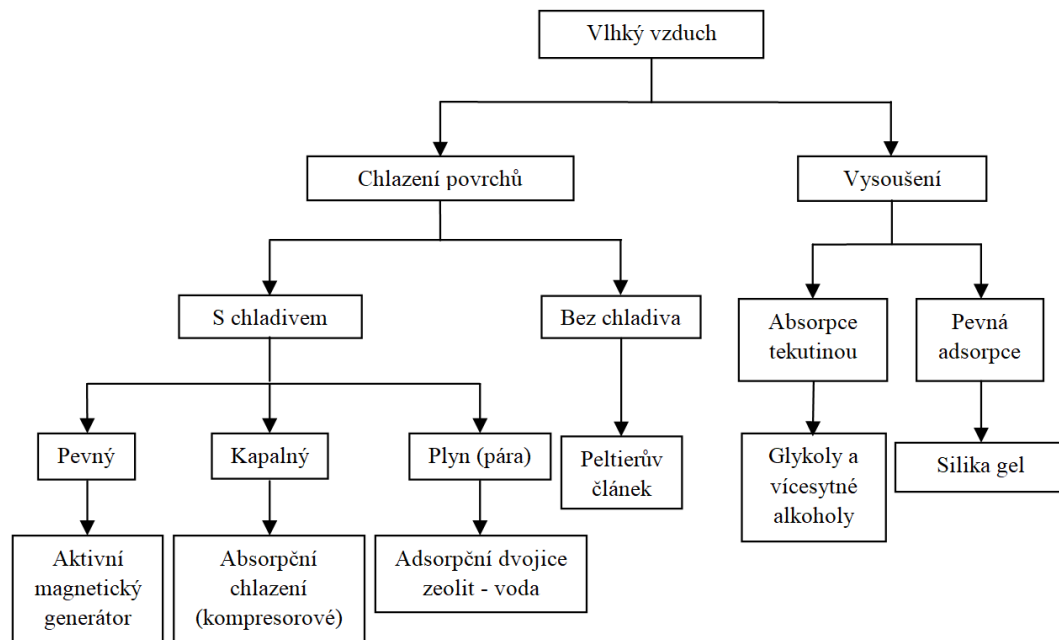
2.7 Sdělené teplo

Sdělené teplo je dáno součtem citelného tepla a vázaného tepla. Chladicí výkon, který je využit na snížení teploty vzduchu, se nazývá citelným teplem. Latentní (vázané) teplo je energie, kterou je nutno dodat nebo odebrat látce při změně jejího skupenství [11].

Latentní teplo potřebné k roztátí ledu nebo zmrazení vody je $334\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Latentní energie potřebná k výparu nebo kondenzaci vody je $2,5\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Latentní teplo potřebné k sublimaci nebo desublimaci vody je $2,83\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ [12].

3 TECHNOLOGIE ZÍSKÁVÁNÍ VODY

Vzduch lze odvlhčovat několika způsoby. Základní rozdělení způsobů zobrazuje Obrázek 3.1



Obrázek 3.1 Možnosti využitelné k odvlhčení vzduchu [13]

3.1 Silikagel

Silikagel je amorfni tuhá forma oxidu křemičitého, který je synteticky vyráběn převážně z křemičitanu sodného a kyseliny sírové. Výsledkem je tuhý oxid křemičitý s obsahem kapalně fáze. Následné vysoušení určuje velikost produktu, jeho strukturu a velikost pórů. Výrobek bývá ve tvaru pravidelných kuliček nebo nepravidelných krystalů. Díky porézní struktuře má silikagel velkou plochu povrchu (až $800 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$). Objem pórů bývá větší než $0,2 \text{ ml} \cdot \text{g}^{-1}$, vnitřní povrch větší než $400 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. Podle velikosti pórů se silikagel dělí na porézní, tzv. silikagely A-typu s poloměrem mikro pórů menším než 1 nm , a široce pórovité s velkými póry, tzv. silikagely B-typu s poloměrem makro pórů větším než 25 nm [14].

Silikagel je možné regenerovat zahřátím na teplotu $120 \text{ }^\circ\text{C}$, případně vyšší. Výsledkem je desorpce vody z povrchu silikagelu. Silikagel opatřený organickým indikátorem se smí regenerovat při maximální teplotě $110 \text{ }^\circ\text{C}$, aby nedošlo k nevratnému rozkladu indikátoru. Indikátor mívá často oranžovou barvu, která signalizuje, že silikagel pojmul maximum možné vlhkosti [14].

Sáčky se silikagelem se používají k uskladnění elektroniky, bot, potravin a čemukoliv, co by mohlo být narušeno vzdušnou vlhkostí.

3.2 Glycerol

Glycerol s chemickým vzorcem $C_3H_8O_3$, chemickým názvem 1,2,3-propantriol nebo lidově glycerín, je viskózní bezbarvá kapalina bez zápachu se silnou hygroskopickou vlastností. Glycerín má nasládlou chuť, nízkou toxicitu a je dobře mísitelný s vodou a alkoholy [15].

Za normálních podmínek (okolní teplota a tlak) je glycerol stabilní látka, při styku s oxidantem, např. manganistanem draselným, může vzplanout až explodovat [15].

Díky výše uvedeným vlastnostem má glycerol využití v mnoha oblastech průmyslu. V kosmetickém průmyslu se využívá při výrobě krémů na zvlhčování pokožky, v automobilovém průmyslu se používá jako přísada do nemrznoucí chladicí kapaliny a v potravinářství jako sladidlo a pojivo potravin [15].

Tabulka 3.1 Vlastnosti glycerolu [15]

Teplota tání	17,8 °C
Bod vzplanutí	177 °C
Teplota varu	290 °C
Hustota při 20 °C	1,26 g·cm ⁻³

Chemicky čistý glycerol má obsah minimálně 99,3 %, zbytek připadá na těžké kovy (Pb), arsen, železo, chlor atd. Další silně hygroskopickou látkou je triethylenglykol.

3.3 Termoelektrický jev

3.3.1 Seebeckův jev

Seebeckův efekt vzniká za předpokladu spojení dvou vodičů různých materiálů do uzavřeného obvodu. Je-li v místech spojení rozdílná teplota T_1 a T_2 , obvodem protéká elektrický proud [16].

3.3.2 Peltierův jev

Pokud protéká stejnosměrný elektrický proud z vnějšího zdroje Seebeckovým obvodem, vzniká rozdíl teplot mezi oběma spoji. Jestliže proud tekoucí z vnějšího zdroje má stejný smysl jako proud v Seebeckovu zapojení při ohřevu, bude se spoj ochlazovat. Jestliže proud z vnějšího zdroje bude opačný, bude se spoj zahřívat. Peltierův jev je závislý na druhu použitých kovů a na jejich teplotě [16].

3.3.3 Peltierův článek

Článek se skládá z tělíska typu P (polovodič s děrovou vodivostí), tělíska typu N (polovodič s elektronovou vodivostí) a spojovacího můstku. Tělíska plní funkci přívodu elektrické energie a výměníku s možností chlazení či ohřevu podle smyslu proudu. Spojovací můstek je pouze výměníkem s oběma možnostmi tepelné výměny. Spojením Peltierových článků do série vznikne tzv. chladicí termobaterie, které se pro dosažení

většího teplotního rozdílu zapojují do kaskády [16].

3.4 Parní chladicí oběhy

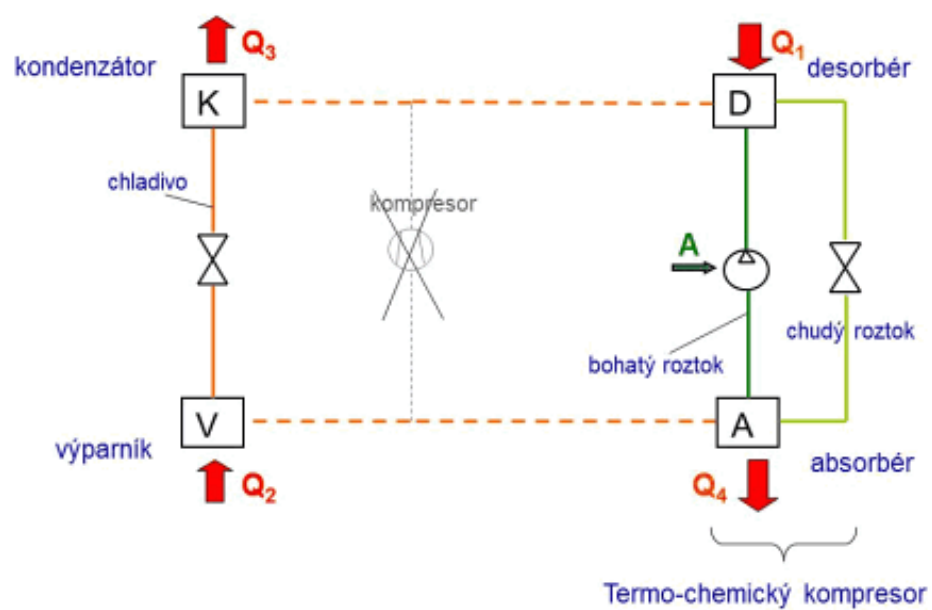
Parní chladicí oběhy dělíme na kompresorové, absorpční a hybridní. Tyto oběhy se liší hnací silou. U kompresorového oběhu je hnací silou mechanická energie, u absorpčního oběhu je hnací silou tepelně-chemická energie, hybridní pak tvoří kombinaci obou. Kompresorový chladicí oběh se používá např. v ledničkách, odvlhčovačích a atmosférických generátorech vody. Absorpční oběh je vhodné použít tam, kde je k dispozici velké množství odpadního tepla. Typickým zástupcem je trigenerace, což je společná výroba elektrické energie, tepla a chladu [17].

3.4.1 Kompresorový chladicí oběh

Kompresorový chladicí oběh je rozdělen redukčním ventilem a kompresorem na dvě části o různém tlaku. Část s výparníkem, kde se odebírá teplo ochlazovanému předmětu je nízkotlaká, a část s kondenzátorem, kde se předává odebrané teplo do okolí je vysokotlaká. Princip činnosti je založen na stlačování a rozpínání chladiva, které změnou tlaku mění hodnotu bodu varu. Kompresor odsává páry chladiva z výparníku a stlačuje je. V kondenzátoru dojde ochlazením chladiva ke změně skupenství na kapalně za odvedení tepla. Redukčním ventilem je dávkováno kapalně chladivo do nízkotlaké části, jeho množství je závislé na požadované teplotě. Kapalně chladivo vlivem snížení tlaku je odpařeno a schopno odebrat teplo ochlazovanému předmětu. Cyklus se tímto uzavírá [17].

3.4.2 Absorpční chladicí oběh

V tomto oběhu cirkuluje chladivo a absorpční látka. Z výparníku odchází pára chladiva do absorbéru, kde je absorbována do kapalně absorpční látky. Z absorbéru je čerpadlem tlačena absorpční látka s absorbovanou kapalinou do desorbéru, kde za dodávaného tepla je odpařena z absorpční látky a koluje do výparníku. Ve výparníku chladivo kondenzuje za uvolnění tepla, a vrací se skrz škrťací ventil zpět do výparníku. Ve výparníku vlivem sníženého tlaku dochází k varu chladiva, za snížené teploty, a odebrání výparného tepla ochlazovanému médiu. Oddělenou větví přes škrťací ventil je uzavřen oběh mezi absorbérem a desorbérem s absorpční látkou. Oběh musí být vhodně doplněn výměníky tepla, s respektováním potřebných tepelných spádů, pro dosažení dobré účinnosti. Dodávané teplo může být realizováno přímým nebo nepřímým vytápěním. Uspořádání a velikost oběhu záleží na požadovaných parametrech a použitých chladících a absorpčních látek [17].



Obrázek 3.2 Absorpční chladicí oběh [17]

4 ZAŘÍZENÍ NA ZÍSKÁVÁNÍ VODY ZE VZDUCHU

Tato kapitola je věnována zařízením, které jsou určeny pro získávání vody ze vzduchu. Nově využívaná zařízení často podléhají patentovému tajemství, tudíž přesné technické parametry je obtížné získat, výtěžnost vody z těchto zařízení je výrobcem dána, nikoliv však za jakých podmínek.

4.1 WEDEW

Jedná se o velké kovové boxy kondenzující páru z atmosféry. Napájeny jsou solárními panely, popřípadě energií získanou ze spalování biopaliv. Největší typy tohoto zařízení mohou získat až 1135 litrů pitné vody za den [18].

4.2 Uravu

Zařízení, které pomocí své látky zadržuje vzdušnou vlhkost a pomocí solárních kolektorů, odpařujících tuto vlhkost, produkuje vodu. Zařízení lze snadno přepravovat. Udávaný výkon je 15 až 20 litrů pitné vody za den [18].

4.3 Nanovláknna

Myšlenkou mobilního nanovláknového získávání vody je využití batohu s vnitřní dutou částí, která by sloužila ke shromažďování vody. Odhaduje se výkon až 180 litrů za den z 1 m² použitého materiálu [18].

4.4 Fontus

Jedná se o láhev, která se plní vodou při jízdě na kole. Zařízení se skládá z kondenzační jednotky poháněné elektřinou ze solárního panelu a nádoby na vodu. Při jízdě je vháněn vlhký vzduch do horní komory kondenzační jednotky, kde se ochlazuje a kondenzuje do láhve. Za předpokladu, že je ve vzduchu 50 % vlhkosti a teplota je minimálně 20 °C, se každou minutu získá jedna kapka vody. Zařízení je opatřeno filtrem hrubých nečistot, ale neřeší výslednou kvalitu produkované vody [19].

4.5 Billboard v Peru

Billboard vyrábí pitnou vodu kondenzací na principu klimatizace. Získaná voda je dále filtrována reverzní osmózou a uložena do dvaceti litrového zásobníku. Výkon billboardu je až 96 litrů za den a je napájen z napájecí sítě [20], [21].

4.6 Eole Water

Společnost z Francie instaluje zařízení, které pomocí větrné energie získává pitnou vodu ze vzdušné vlhkosti. Větrná turbína pohání generátor, otáčkami 100 za minutu, o výkonu 30 kW, na který je napojen kompresor, který pohání parní chladicí oběh. Turbína je dimenzována na minimální rychlost větru $15 \text{ m} \cdot \text{hod}^{-1}$. Průměrná výroba vody je 350 až 1200 litrů za den podle relativní vlhkosti vzduchu. Pro zvýšení účinnosti firma zvažuje propojení se solárními panely [20], [21].

4.7 Water Seer

Zařízení připomíná houbu, z větší části zasazenou do země. Hloubka zasazení závisí na lokálních klimatických podmínkách a na velikosti zařízení. V průměru se počítá se zasazením do země do hloubky 150 cm. Nadzemní část Water Seeru je osazena vertikální větrnou turbínou, sloužící k vhánění vlhkého vzduchu do kondenzátoru. Vodní pára postupně kondenzuje v kovové trubici vedoucí pod zem. Výkon zařízení se blíží čtyřiceti litrům za den. Velkou výhodou je autonomní provoz bez nutnosti časté údržby. Ekvivalentním názvem by mohla být umělá studna [22], [23].

4.8 Vodní harfa

Mlha vzniká kondenzací vodní páry těsně nad zemským povrchem. Skládá se z drobných vodních kapek. Nápad vznikl zachycením vodních kapiček před jejich odpařením, inspirovaný jehličím sekvojí, po kterých mlha stéká zpátky na zem. Jedná se tedy o kovový rám s napnutými strunami o průměru 0,25 mm vyrobenými z nerezové oceli. Záchyt z pole strun o ploše 1 m^2 je i více než 10 litrů denně [24].

4.9 Zero Mass Water

Jedná se o hydropanel extrahující vodu ze vzduchu. Ventilátory v hydropanelech vhání vlhký vzduch na vzduchový filtr. Na vzduchovém filtru je zachycena vlhkost, kterou je nutno nechat zkondenzovat. Získaná voda se nechá protéct přes mineralizátor. Upravená voda je zadržována v nádrži o objemu 30 l. V hydropanelech jsou umístěny senzory, které prostřednictvím internetu umožňují sledovat společnosti Zero Mass Water kvalitu vody pro možné zdokonalení systémů. Zároveň mají majitelé hydropanelů k dispozici aplikaci, která jim umožní sledovat kvalitu vody též. Odhadovaná životnost je 15 let. To odpovídá ceně vody 4 Kč na jeden litr vody. Hydropanely jsou nenáročné na údržbu. Jednou za rok je nutné vyměnit vzduchový filtr, mineralizátor každých 5 let [25], [26].

4.10 S.A.W.E.R.

Solar Air Water Energy Resource je dvoustupňový autonomní systém na získávání vody a na rekultivaci pouště na úrodnou půdu. Běžných chlazením při pouštních podmínkách lze přibližně získat 10 litrů vody za den, S.A.W.E.R. v těchto podmínkách dokáže získat až 400 l/den. Odpadní teplo lze do budoucna využít na ohřev vody nebo klimatizaci budov [27].

V první fázi se využije desikant, který naváže na svůj povrch vodní páru adsorpcí. Odvlhčený vzduch je odveden pryč ze zařízení a nasává se nový vlhký vzduch, který je poté ohřát na vysokou teplotu tak vysokou, aby uvolnil páru z desikantu a navázal jí do sebe. Takto navlhčený vzduch je přiváděn na chladič, kondenzace probíhá s větší výtěžností i účinností [27].

Další myšlenkou S.A.W.E.R. je využívat část získané vody pro fotobioreaktor, který slouží ke kultivaci mikro řas k produkci polysacharidů a zadržení živin ve vodě. Směs vody, řas a živin se aplikuje závlivkovým systémem asi 20 cm pod povrchem země, zamezí se tak značnému odpařování vody z povrchu. Ve vodě jsou obsaženy rostlinné hormony a organická hmota napomáhající zdárnému růstu rostlin. Před samotnou výsadbou rostlin se oživí písčité půda mikroorganismy [27].

4.11 MAGDA

Mobile Autonomous Water Generator from Desert Air je nástupce S.A.W.E.R., který je, dle názvu, mobilní. Pracuje na stejném principu jako S.A.W.E.R. V pouštním prostředí je schopna produkovat $0,6 \div 1,5$ litru vody, to záleží na teplotě a vlhkosti vzduchu. Disponuje filtračním systémem, voda je tedy pitná. „Magda se skládá ze dvou boxů, jeden box produkuje pitnou vodu, druhý box s bateriemi dodává elektrickou energii.“ Předpokládaným napájením je rozkladací fotovoltaické pole o ploše 35 m². Magda je plánována pro komerční použití, kde cena verze pro provoz z napájecí sítě bude až třetinová [28].

4.12 Odvlhčovače vzduchu

Odvlhčovačů vzduchu je nepřeberné množství. Pracují na principech absorpčního chlazení a kompresorového chlazení, které je nejúčinnější pro vstupní vzduch o teplotě 30 °C s relativní vlhkostí 80 %. Dále budou představeni dva zástupci odvlhčovačů z důvodu využití pro vlastní pokusy.

4.12.1 DeLonghi DNC 65

Odvlhčovač vzduchu DNC 65 využívá adsorpci k navázání vodních par na tuhý sorbent. Ze sorbentu je vlhkost odváděna zahřátým vzduchem. Dle typu odvlhčovače je obecně tento zahřátý vlhký vzduch odváděn mimo místnost, nebo se voda zadržuje kondenzací v zařízení. U DNC 65 se jedná o druhý případ.

Tabulka 4.1 Technické parametry odvlhčovače DeLonghi [29]

Příkon	520 W
Velikost místnosti	22 ÷ 55 m ²
Výtěžnost vody za den	<18 l
Vlhkostní rozsah	35 ÷ 80 %
Hlučnost	34 dB
Průtok vzduchu za hodinu	100 ÷ 160 m ³

4.12.2 DOMO DO342DH

Odvlhčovač DO342DH pracuje na principu kompresorového chlazení. Vzduch je nasáván ventilátorem skrz vzduchový filtr. Jednou z funkcí odvlhčovače je režim čištění vzduchu. V tomto režimu je mimo provoz kompresor a ventilátor cirkuluje vzduch přes filtr.

Tabulka 4.2 Technické parametry odvlhčovače DOMO [30]

Příkon	600 W
Reálný odběr	350 W
Velikost místnosti	37 ÷ 52 m ²
Teplotní rozsah	5 ÷ 35 °C
Výtěžnost vody za den	<20 l
Vlhkostní rozsah	35 ÷ 80 %
Hlučnost	45 dB
Průtok vzduchu za hodinu	111 ÷ 156 m ³

4.13 Atmosférické generátory vody

Konvenční generátory vody nasávají vlhký vzduch přes vzduchové filtry, který dále pokračuje na povrch výměníku, kde je ochlazen a zbaven vlhkosti. Vstupní vzduchové filtry chrání výměňkové plochy před usazeninami a šetří filtry na úpravu vody. Chlazení je nejčastěji realizováno formou kompresorového chlazení, méně často absorpčního. Vyčištěný ochlazený vzduch je odváděn ze zařízení. Zkondenzovaná voda pokračuje přes filtry do zásobníku na vodu. Počet filtrů a jejich řazení se může lišit podle výrobce. Zásobníky vody nejsou dimenzovány na denní výtěžnost, ale na poměrnou část. Častou funkcí atmosférických generátorů vody je automatické čištění vody, jehož frekvence je opět závislá na výrobci. Jedná se o prevenci proti tvorbě bakterií. Pro AWG jsou stanoveny referenční podmínky pro teplotu vzduchu 30 °C a relativní vlhkost 80 %. Jednotkou pro vyjádření energetické náročnosti je kilowatthodina na litr (kWh·l⁻¹).

4.13.1 Sharp – Skywell 5TE

Jedná se o kancelářský atmosférický generátor vody. Voda prochází sedmistupňovým filtračním systémem. Dezinfekce a konečné jemné filtrování je zajištěno UV lampou a ozónem. Monitorovací systém zařízení kontroluje vyprodukovanou vodu, aby byla zaručena její kvalita a čistota. Generátor je schopen dodávanou vodu chladit i ohřívat [31], [32].

Tabulka 4.3 Technické parametry generátoru Sharp [32]

Maximální příkon	1010 W
Příkon ohřevu	850 W
Příkon chlazení	70 W
Teplotní rozsah vody	2,8 ÷ 94,8 °C
Hlučnost	53 dB

4.13.2 Watergen

GEN-L je největším ze čtyř generátorů vody firmy Watergen. V ideálních podmínkách dokáže vyrobit až 6000 litrů pitné vody za den. Zařízení je tzv. plug-and-drink, tzn. bez nutnosti příprav pro uvedení do provozu. Je stavěno jako modulární jednotka stavěná pro provoz od 15 °C a 20 % relativní vlhkosti. Udávaná energetická náročnost je 0,35 kWh·l⁻¹ [33].

GEN-M Mobile Trailer je mobilní generátor na přívěsu s vlastním generátorem energie o výkonu 12 kVA. Udávaná energetická náročnost je 0,35 kWh·l⁻¹. V ideálních podmínkách dokáže vyrobit až 800 litrů pitné vody za den [34].

GEN-M je samotný generátor ze soustavy GEN-M Mobile trailer o stejných parametrech [35].

GEN-M1 je nejmenším generátorem, který je určen pro obytná zařízení. V ideálních podmínkách dokáže vyrobit až 220 litrů pitné vody za den s energetickou náročností 3,5 kWh·l⁻¹. Je stavěn na pracovní podmínky 18 ÷ 40 °C o relativní vlhkosti 20 ÷ 90 % [36].

4.13.3 Canadian Dew

Vybrané generátory jsou určeny na napájecí frekvenci 50 Hz. Udávaná produkce vody je při teplotě 29,4 °C a relativní vlhkosti 75 % [37].

Tabulka 4.4 Technické parametry generátorů Canadian Dew [37]

Zařízení	WFC-3-50	WFC-5-50	WFC-15
Produkce vody [l/den]	151	298	754
Průtok vzduchu [m ³ /h]	2052	2052	2556
Chladicí výkon [kW]	8,7	14,6	43,8
Počet fází	1	1	3
Příkon [kW]	3,5	5,8	17,5
Spotřeba energie [kWh·l ⁻¹]	0,56	0,47	0,56

4.13.4 Query®Water

Atmosférické generátory vody využívají charakteristiky absorpčního chladiče, kde vzdušná vlhkost kondenzuje na výměníku. Zkondenzovaná voda je sedmistupňovou úpravou filtrována a poté mineralizována. Dále je voda upravena UV filtrací, která odstraní téměř 100 % organických bakterií. Nakonec je uhlíkovým filtrem upravena výsledná chuť vody. Jednotky kondenzují vodu chlazením vlhkého vzduchu na jeho rosný bod. Společnost ECOONE Europe s.r.o. dodává atmosférické generátory ve více velikostech dle oblasti použití. Nejmenší jednotky, určené pro domácnosti a kanceláře, vyrobí 20 litrů pitné vody za den. Středně velké jednotky, určené pro průmyslové využití, vyrobí až 100 litrů pitné vody za den. Velkokapacitní série jednotek, určená pro zavlažování, vyrobí až 20 000 litrů pitné vody za den. Atmosférické generátory mohou být poháněny dieselovými generátory, solárními panely či větrnou energií, zatím jsou napájeny z napájecí sítě [38].

5 ECOONE EUROPE S.R.O.

5.1 Představení společnosti

Průkopníkem v oblasti získávání vody ze vzduchu na českém trhu je společnost ECOONE EUROPE s.r.o. Společnost vznikla v roce 2000 sdružením lidí se zájmem o zdroje, spotřebu a úsporu tepla. Záměr byl tyto potřeby ekologicky, chytře a efektivně snížit [39].

Přelomovým rokem ve znamení restrukturalizace a příchodu nového investora se stal rok 2014, lze jej považovat za začátek společnosti tak, jak ji známe dnes [39].

Pilotní projekt společnosti zacílil na regulaci nákladů na vytápění pomocí QUERY©Thermu, tepelných čerpadel se speciálními výměníky. S touto technologií firma expandovala na německý trh, kde založila dceřinou společnost ECOONE Germany GmbH se sídlem ve Stuttgartu v roce 2016. O rok později získala společnost ve spolupráci s ČVUT UCEEB finanční podporu od Evropské Unie. Následovalo i několik instalací pro ČEZ. V současné době dceřina společnost slouží jako zázemí produktů firmy [39].

V roce 2018 se produktové portfolio firmy rozrostlo o Query 4life (detektory pro vnitřní klima), Query 4X (vytápění a ohřev vody) a QueryAIR (čištění vzduchu) [39].

Rok 2019 přinesl novinku QueryWater. Jedná se o atmosférický generátor vody pracující na principu absorpčního chladicího oběhu. Vynález QueryWater a přidružená divize úpravy vody svým zaměřením zastínil QueryTherm [39].

QueryWater bylo zapůjčeno do Božího Daru při projektu navracení vody do krajiny, a také instalováno v Praze 4 jako projekt veřejného pitka. O rok později vznikla nová podpůrná jednotka SDU (samo regenerační vzduchové filtry), které slouží jako ochrana před polétavým pískem. Rok 2020 navíc přinesl expanzi na Střední Východ do oblastí Kataru, SAE, Jordánska, Íránu a Saudské Arábie [39].

Vizi firmy s progresivním úspěchem AWG QueryWater, jakožto nového vlastního zdroje pitné vody, je celosvětové uhašení žízně jak lidstva, tak přírody. Dle rostoucí spotřeby pitné vody může zařízení oddálit konflikty a přispět k neutralitě států [39].

Query®Water je dodáván ve variantách 20L, 100L, 1000L, 5000L, 10000L a 20000L [40].

5.2 Výběr zařízení

Následující výběr zařízení proběhne s ohledem na dostupnost meteorologických dat pro oblast Chlumce nad Cidlinou podle průměrné denní spotřeby vody pro čtyřčlennou rodinu s cenou vody 81,18 Kč bez DPH za m³, a podle průměrného počasí za posledních 10 let (2011 ÷ 2020). Průměrná teplota vzduchu byla 10,67 °C a průměrná relativní vlhkost 76,6 % [41], [42].

Tabulka 5.1 Průměrná denní spotřeba vody na osobu [43]

	Průměrná spotřeba [l]	Průměrné náklady bez DPH [Kč]
WC	22	1,79
Osobní hygiena	30	2,44
Praní, úklid	13	1,06
Spotřeba v kuchyni	8	0,65
Pitný režim	4	0,32
Mytí rukou	4	0,32
Ostatní	8	0,65
Součet	89	7,23

Z Tabulky 5.1 bude počítáno s průměrnou denní spotřebou vody pro domácnost 356 l. Průměrná roční relativní vlhkost vzduchu dosahuje téměř ideálních hodnot pro volbu atmosférického generátoru vody. Průměrná roční teplota není pro chod zařízení vhodná, ale v období mimo zimní měsíce a některé jarní a podzimní měsíce podmínka splněna bude. Je zvolena varianta Query®Water 1000L.

5.3 Technické údaje

5.3.1 Technické parametry Query®Water 1000L

Atmosférické generátory Query®Water pracují na principu absorpčního chlazení popsaného v kapitole 3.4.1 a dále na obecném principu AWG popsaném v úvodu kapitoly 4.12. Získaný kondenzát je poté filtrován sedmistupňovou úpravou, mineralizován, a nakonec upraven UV filtrací s účinností odstranění 99,9 % organických bakterií. Doplnkovou úpravou pro jednotky nad 100 litrů je chlazení vody na 6 °C a ohřev vody na 82 °C. Další doplňkovou úpravou je automatické přefiltrování vody každé tři hodiny pro zachování čistoty vody [44].

Tabulka 5.2 Technické parametry generátoru Query®Water 1000L [44], [45]

Napájecí napětí	400 V
Frekvence	50 Hz
Příkon	12,3 kW
Výtěžnost vody	1000 l/den
Objem zásobníku	500 l
Pracovní rozsah teploty	15 ÷ 45 °C
Pracovní rozsah relativní vlhkosti	30 ÷ 100 %
Chladivo	R407C
Hlučnost	<70 dB
Objem odváděného vzduchu	7800 m ³ ·h ⁻¹

Tabulka 5.3 Návrhová tabulka produkce vody za den [l] Query®Water 1000L [44]

Teplota [°C]	Relativní vlhkost							
	25 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
15	87,7	93,5	121,1	175,4	224,9	321,9	350,9	456,1
20	142,5	151,9	208,1	285,1	318,7	395,1	450,5	621,6
25	180,5	1 924,0	263,6	361,1	454,9	641,5	763,4	938,9
30	230,7	245,8	336,8	461,4	632,1	885,0	1 000,0	1 260,0
35	272,2	295,3	404,6	544,4	745,9	1 044,2	1 180,0	1 486,8
40	313,6	345,0	472,7	627,2	859,3	1 203,0	1 359,4	1 712,8
45	356,6	394,7	540,9	713,1	977,0	1 367,8	1 545,6	1 947,4

Tabulka 5.4 Návrhová tabulka spotřeby energie na 1 l vody [kWh] Query®Water 1000L [44]

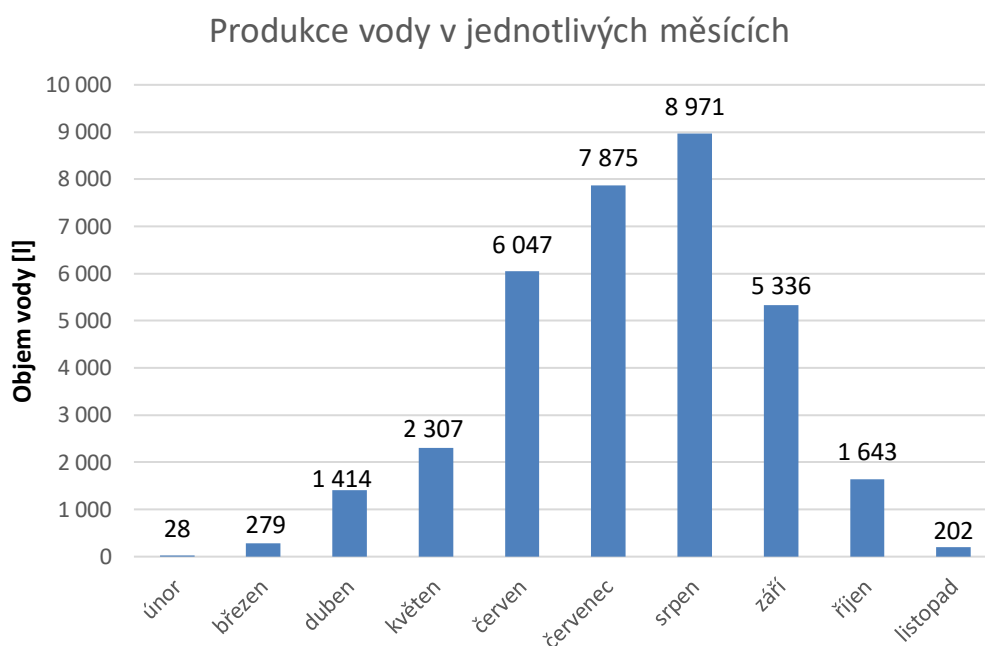
Teplota [°C]	Relativní vlhkost							
	25 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
15	87,7	93,5	121,1	175,4	224,9	321,9	350,9	456,1
20	142,5	151,9	208,1	285,1	318,7	395,1	450,5	621,6
25	180,5	1 924,0	263,6	361,1	454,9	641,5	763,4	938,9
30	230,7	245,8	336,8	461,4	632,1	885,0	1 000,0	1 260,0
35	272,2	295,3	404,6	544,4	745,9	1 044,2	1 180,0	1 486,8
40	313,6	345,0	472,7	627,2	859,3	1 203,0	1 359,4	1 712,8
45	356,6	394,7	540,9	713,1	977,0	1 367,8	1 545,6	1 947,4

5.4 Určení energetického potenciálu

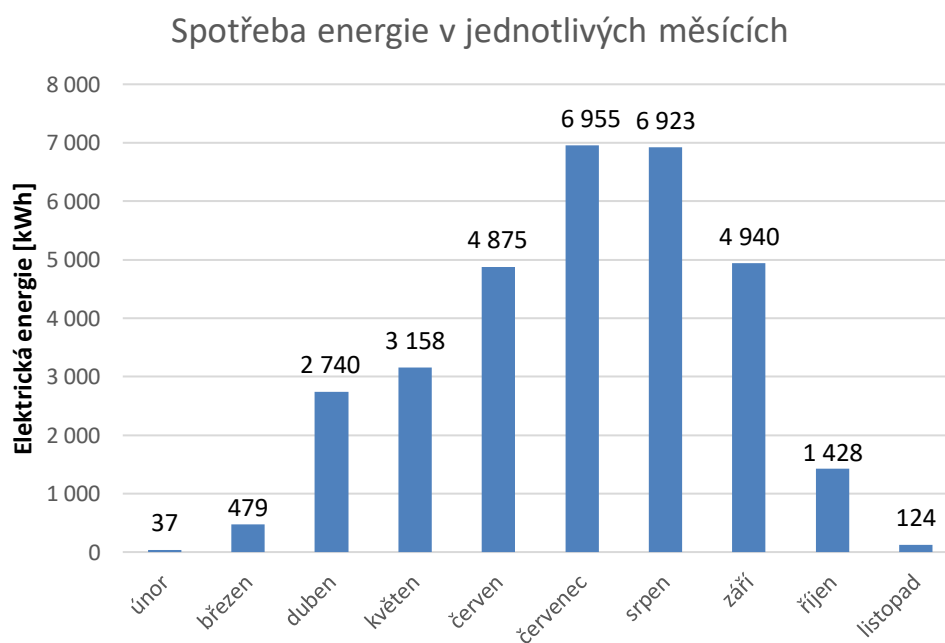
V Příloze A jsou uvedeny hodinové údaje o počasí za rok 2020 a 2019. Nejdůležitější údaje pro provoz AWG jsou relativní vlhkost a teplota vzduchu. Podle doporučených podmínek výrobce byly vybrány hodiny v jednotlivých letech, kdy teplota vzduchu dosahovala alespoň 15 °C a relativní vlhkost vzduchu byla v rozmezí od 25 % do 95 %. Dále bylo provedeno aritmetickým průměrem rozšíření návrhových tabulek (Tabulka 5.2 a Tabulka 5.3) po jednotlivých stupních teploty a jednotlivých procentech relativní vlhkosti. Naměřené hodinové údaje počasí byly zaokrouhleny na celá čísla, aby jim mohla být přiřazena data z návrhových tabulek. Nakonec proběhlo vyhodnocení pro rok 2020 v kapitole 5.4.1 a vyhodnocení pro rok 2019 v kapitole 5.4.2.

5.4.1 Předpokládaná výtěžnost pro rok 2020

Pro rok 2020 bylo 2539 z 8784 hodin příznivých pro provoz AWG. V těchto hodinách dosahovala průměrná teplota vzduchu 20,86 °C a průměrná relativní vlhkost vzduchu 55,07 %. Rozložení získané vody v jednotlivých měsících zobrazuje Obrázek 5.1 a rozložení spotřebované energie zobrazuje Obrázek 5.2.



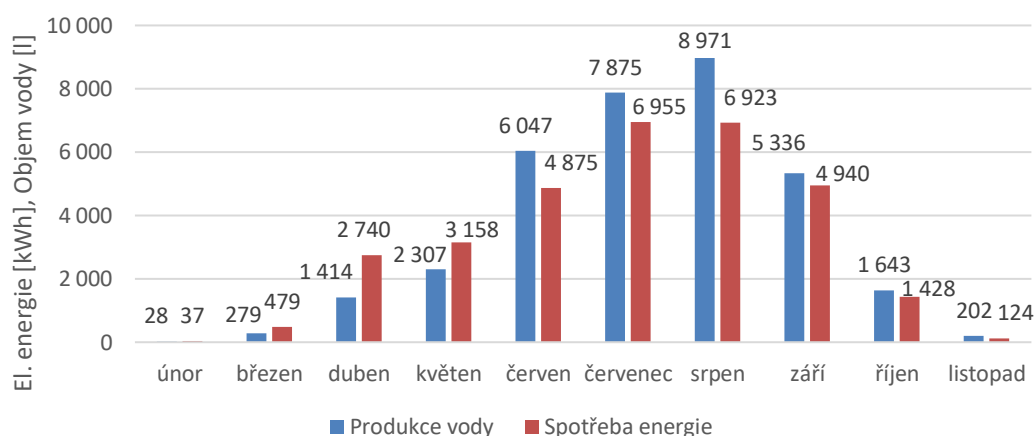
Obrázek 5.1 Výtěžnost vody v jednotlivých měsících pro rok 2020



Obrázek 5.2 Spotřebovaná energie v jednotlivých měsících pro rok 2020

Pro přehlednost byly Obrázek 5.1 a Obrázek 5.2 sloučeny do jednoho.

Produkce vody a spotřeba energie v jednotlivých měsících



Obrázek 5.3 Spotřebovaná energie a množství vody získané v jednotlivých měsících pro rok 2020

Pro následné úvahy bude uvažována průměrná cena elektrické energie 3,21 Kč bez DPH za 1 kWh [46].

Z Obrázku 5.3 můžeme říci, že nejnižší cena získaného litru vody byla dosažena v listopadu, důvodem je největší rozdíl mezi získaným objemem vody a spotřebovanou elektrickou energií. Cena jednoho litru by vyšla v průměru na 1,97 Kč bez DPH.

Příklad výpočtu ceny litru vody pro listopad:

$$\text{cena litru vody} = \frac{\text{elektrická energie} \times \text{cena elektrické energie}}{\text{objem vody}} \quad (2.22)$$

$$\text{cena litru vody} = \frac{124 \times 3,21}{202} = 1,97 \text{ Kč.} \quad (2.23)$$

Naopak nejvyšší náklady na litr vody by musely být vynaloženy v dubnu, kdy na Obrázku 5.3 je zřejmé, že by bylo třeba vynaložit téměř dvojnásobek energie na získaný objem vody. Cena jednoho litru by pak vycházela na 6,22 Kč bez DPH.

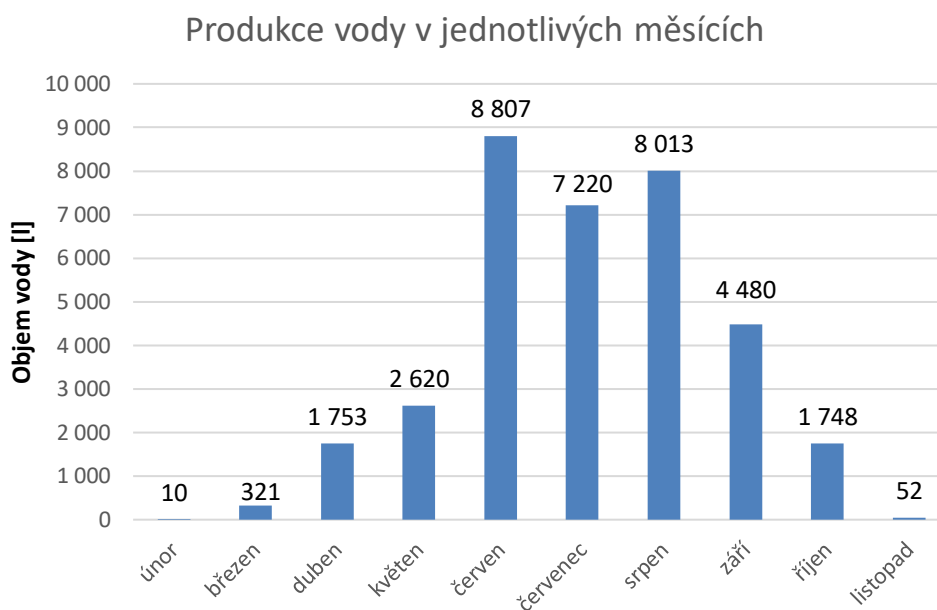
Nejefektivnější by byl měsíc srpen, kde by podle Obrázku 5.1 bylo možné získat průměrně 8971 litrů vody, což je průměrně 289,4 litrů vody denně. I tato zdánlivě příznivá hodnota je pod stanoveným denním průměrem pro čtyřčlennou domácnost určenou v kapitole 5.2.

Za deset měsíců provozu v roce by zařízení mělo vytěžit 34 101 litrů vody se spotřebou energie 31,66 MWh, tzn. průměrnou cenu 2,98 Kč bez DPH za litr vody.

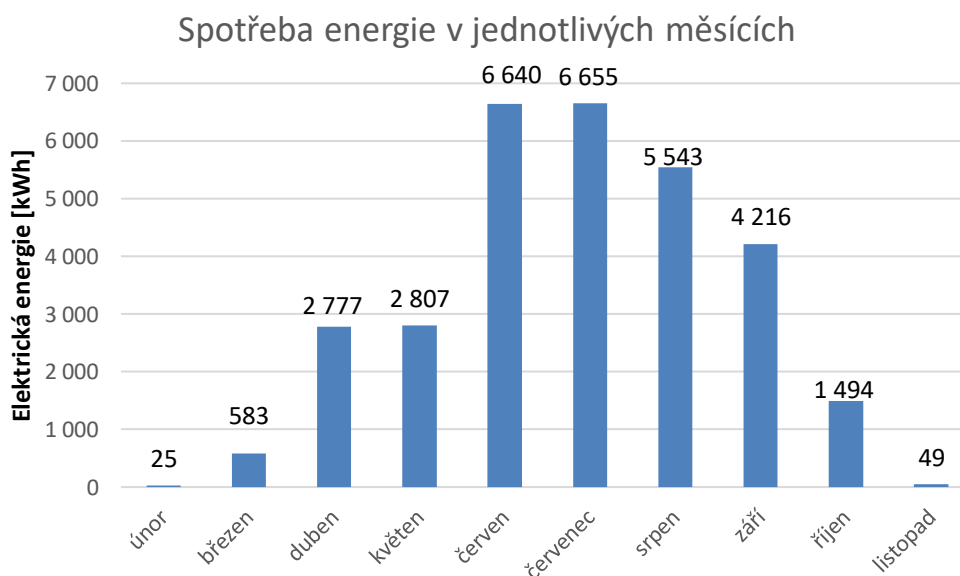
Pokud by atmosférický generátor pracoval za ideálních podmínek po dobu 2539 hodin, mohl by vyprodukovat až 105 800 litrů vody. Jeho reálná výtěžnost pro rok 2020 by byla 32,23 % návrhové. Z ideálního množství za rok by pak byl generátor schopen vyprodukovat pouze 9,32 %.

5.4.2 Předpokládaná výtěžnost pro rok 2019

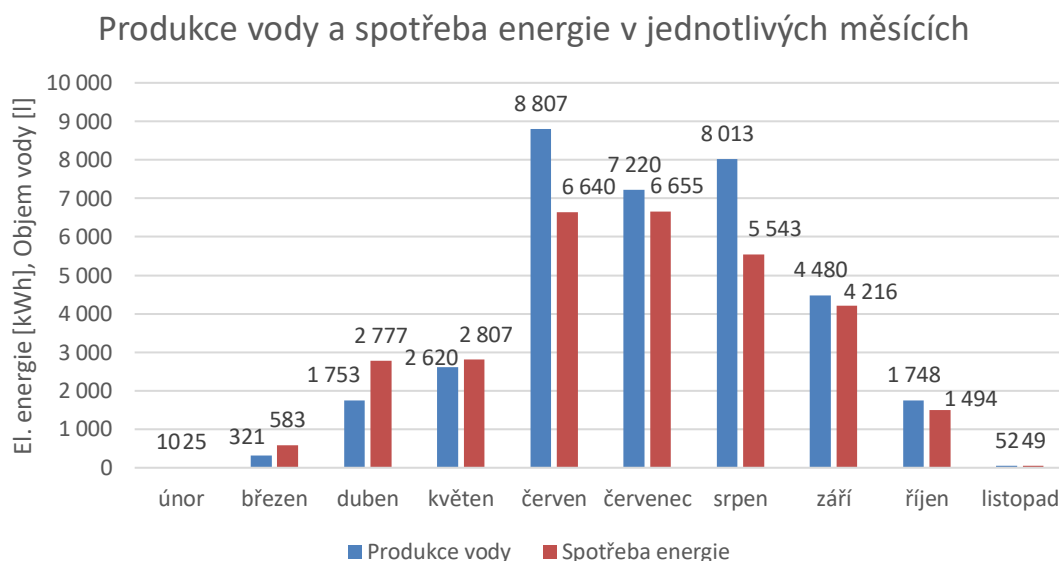
Tato kapitola slouží pro možnost porovnání modelových roků 2019 a 2020. Pro rok 2020 bylo 2463 z 8760 hodin příznivých pro provoz AWG. V těchto hodinách dosahovala průměrná teplota vzduchu 21,86 °C a průměrná relativní vlhkost vzduchu 54,28 %. Rozložení získané vody v jednotlivých měsících zobrazuje Obrázek 5.4 a rozložení spotřebované energie zobrazuje Obrázek 5.5.



Obrázek 5.4 Výtěžnost vody v jednotlivých měsících pro rok 2019



Obrázek 5.5 Spotřebovaná energie v jednotlivých měsících pro rok 2019



Obrázek 5.6 Spotřebovaná energie a množství vody získané v jednotlivých měsících pro rok 2019

Pro následné úvahy bude uvažována průměrná cena elektrické energie, která byla v roce 2019 3 Kč bez DPH za 1 kWh [46].

Z Obrázku 5.6 můžeme říci, že nejnižší cena získaného litru vody byla dosažena v srpnu, kdy bylo získáno nejvíce litrů vody za poměrně nízkou průměrnou spotřebu elektrické energie. Průměrná spotřeba činila $0,69 \text{ kWh} \cdot \text{l}^{-1}$. Cena jednoho litru by vyšla v průměru na 2,08 Kč bez DPH.

Naopak nejvyšší náklady na litr vody by musely být vynaloženy v únoru, kdy na Obrázku 5.6 je patrné, že by bylo třeba vynaložit dva a půl násobek energie na získaný objem vody. Cena jednoho litru by pak vycházela na 7,3 Kč bez DPH.

Nejefektivnější by byl opět měsíc srpen, kde by podle Obrázku 5.4 bylo možné získat průměrně 8807 litrů vody, což je průměrně 284,1 litrů vody denně. Ani pro tento rok a jeho nejefektivnější měsíc bychom nesplnili podmínku pro čtyřčlennou rodinu z kapitoly 5.2.

Za deset měsíců provozu v roce by zařízení mělo vytěžit 35 025 litrů vody se spotřebou energie 30,79 MWh, tzn. průměrnou cenu 2,64 Kč bez DPH za litr vody. Nižší náklady jsou způsobeny cenou elektrické energie a vyšší průměrnou teplotou oproti roku 2020.

Pokud by atmosférický generátor pracoval za ideálních podmínek po dobu 2463 hodin, mohl by vyprodukovat až 102 625 litrů vody. Jeho reálná výtěžnost pro rok 2020 by byla 34,13 % návrhové. Z ideálního množství za rok by pak byl generátor schopen vyprodukovat pouze 9,6 %.

5.5 Náklady na pořízení

V této kapitole budou stručně formou tabulky shrnuty náklady na pořízení a výměnu filtrů pro zařízení Query®Water 1000L, kitem se myslí kompletní sada filtrů.

Tabulka 5.5 Pořizovací náklady Query®Water 1000L [47]

Položka	Cena bez DPH [Kč]	Životnost [let]	Počet [ks]	Celkem bez DPH [Kč]
Jednotka QW1000	1 219 000	14,0	1	1 219 000
Servisní kit na 2 roky	17 946	2,0	6	107 676

5.6 Shrnutí v číslech

Tabulka 5.6 ukazuje, že počasí v posledních dvou letech bylo přibližně srovnatelné z hlediska získávání vody, cena za litr vody je pro rok 2020 vyšší především kvůli větším nákladům na elektrickou energii a nižší průměrné teplotě vzduchu.

Tabulka 5.6 Shrnutí Query®Water 1000L

Rok	Produkce vody [l]	Spotřeba energie [kWh]	Cena za litr vody bez DPH [Kč]
2020	34 101	31 659	2,98
2019	35 025	30 788	2,64

6 ÚPRAVA VODY

Zkondenzovanou vodu lze považovat za destilovanou vodu, tzn. velice čistou vodu čiré barvy bez chuti a zápachu. Okolními vlivy se však do zkondenzované vody dostává řada nečistot. Jde zejména o polétavý prach, oxidy síry ze sopečných činností nebo o oxidy dusíku ze spalovacích motorů automobilů. Destilovaná voda nesplňuje hygienické požadavky na pitnou vodu podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. Ministerstva zdravotnictví. Vodu je nutné před konzumací upravit.

6.1 Vyhláška č. 252/2004 Sb. Ministerstva zdravotnictví

„Pitná voda musí mít takové fyzikálně-chemické vlastnosti, které nepředstavují ohrožení veřejného zdraví. Pitná a teplá voda nesmí obsahovat mikroorganismy, parazity a látky jakéhokoli druhu v počtu nebo koncentraci, které by mohly ohrozit veřejné zdraví. U surových nebo pitných vod, u kterých je při úpravě uměle snižován obsah vápníku nebo hořčíku, nesmí být po úpravě obsah hořčíku nižší než $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ a obsah vápníku nižší než $30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ [48].“

6.2 Osmóza

Osmóza funguje v přírodě na buněčných polopropustných membránách tak, že na jedné straně membrány je roztok iontů koncentrovanější než na druhé straně. Na membráně dochází vlivem osmotického tlaku k vyrovnání koncentrací průchodem čisté vody skrz membránu, protože na straně s menší koncentrací je vyšší osmotický tlak, způsobený vyšším množstvím molekul H_2O , schopných polopropustnou membránou projít [49].

6.3 Reverzní osmóza

Zvýšením tlaku na jedné straně polopropustné membrány překonáme přirozený osmotický tlak a nastane opačný proces – reverzní osmóza. Koncentrace látek oddělených polopropustnou membránou se tak budou vzdalovat. Na jedné straně polopropustné membrány se bude tlačit čistá voda a na druhé straně se bude zhušťovat roztok ostatních nežádoucích látek, které budou vypouštěny do odpadu [49].

Reverzní osmóza pracuje účinně při zvýšeném tlaku, tj. $3 \div 6$ barů. Tlak 1 bar odpovídá hodnotě 0,1 MPa. Při nižším tlaku vykazuje reverzní osmóza malou účinnost, tzn. velké množství vody tekoucí do odpadu. S rostoucím tlakem účinnost procesu roste [49].

Při čištění vody z vodovodu se před samotnou membránu umísťuje několik filtrů, které brání ucpání a poškození membrány. Jedná se o jemný mechanický filtr, filtr s aktivním uhlím zachycující chlor, a ještě jemnější mechanický filtr. Za membránu se

zařazuje filtr s aktivním uhlím, který zlepšuje výslednou chuť vody. Nakonec je voda mineralizována pro splnění podmínek pro pitnou vodu [49].

6.4 Stupně reverzní osmózy

6.4.1 Sedimentační předfiltr

Vláknitý předfiltr zachytává mechanické nečistoty, které by na dalších stupních osmózy mohly způsobit zanesení. Obvyklá velikost pórů je 20 μm . Ukazatelem ucpání filtru je pokles tlaku, který by neměl přesáhnout 20 % vstupního tlaku. Životnost závisí na kvalitě vody a jejím množství. Udávaná životnost je až 6 měsíců [50].

6.4.2 Uhlíkový filtr

Zabraňuje prostupu chloru, těžkým kovům, pesticidům atd. Při větší koncentraci chloru je doporučeno použít dvoustupňový uhlíkový filtr. Životnost je obdobná jako u sedimentačního filtru [50].

6.4.3 Membrána reverzní osmózy

Membrána redukuje průchod rozpuštěných pevných látek přítomných ve vodě. Nepropouští arsenik, fluoridy, dusičnany atd. Životnost polopropustné membrány je dva až pět let. Reverzní osmózou projdou maximálně 4 % nečistot. Poměr prošlé vody k odpadní vodě se značně liší podle kvality. Pro kvalitní vodu je odpad pouze 30 % [50].

6.4.4 Uhlíkový post-filtr

Filtr je naplněn aktivním uhlím. Aktivní uhlí zlepšuje kvalitu chuti vody záchytem nežádoucích příchutí a pachu. Dále je schopno zachytávat chlor. Výměna je nutná asi po roce [50].

6.4.5 Mineralizátor

Polovypálený dolomitický vápenec dodává zpět potřebné minerály, např. vápník, hořčík, draslík a sodík. Výměna je nutná po 6 ÷ 12 měsících [50].

6.4.6 Deionizátor

Při deionizaci dochází k redukci zbytkových nečistot prošlých reverzní osmózou. Vodivost takto upravené vody je menší než 0,1 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ [50].

6.4.7 UV lampa

Ultrafialové záření je ve velkých dávkách smrtelné pro většinu organismů. Je užívána k ničení řas, bakterií, parazitů, plísní a virů obsažených ve vodě [50].

6.5 Remineralizace a úprava pH

Destilovaná voda a voda s nedostatečnou úrovní uhličitanu vápenatého jsou korozivní. Zvýšit kvalitu přírodní nebo ošetřené vody na nekorozivní nebo na úroveň přijatelnou pro lidskou spotřebu lze pomocí vápencových výrobků. Neutralizací se upraví hodnota pH. Dále se mineralizuje voda prostřednictvím přidání vápníku, hořčíku a vápenatých minerálů. Snížit tvrdost vody lze dekarbonizací (odstranění hydrogenuhličitanových iontů). Cílem úprav je dosáhnout vápenato-uhličitanové rovnováhy [51].

6.6 Další možnosti úpravy vody

6.6.1 Himalájská růžová sůl

Himalájská sůl obsahuje 84 přírodních látek a minerálů, které jsou důležité pro lidské zdraví. Jedná se například o hořčík, draslík, vápník, sodík, fosfor a železo. Ve stopovém množství pak zinek, selen, jód, a měď. Růžové zbarvení je zapříčiněno obsahem malého množství oxidu železa (rzi). Sůl obsahuje stopové množství hliníku, olova a některých toxických kovů [52].

Mezi největší přínosy himalájské růžové soli pro lidský organismus patří:

- reguluje krevní tlak
- vyrovnává pH v těle
- pomáhá s regulací cukru v krvi
- zajišťuje zdraví cév, sílu kostí a funkci dýchací soustavy
- předchází svalovým křečím
- vyživuje ledviny a žlučník
- podporuje zdravý spánek [52]

Použití himalájské soli jako mineralizátoru je limitováno obsahem sodíku. Nadměrná konzumace sodíku způsobuje zadržování vody, ale může vést ke zdravotním komplikacím, jako je vysoký krevní tlak a srdeční onemocnění. Doporučená dávka sodíku je jeden gram na den, což odpovídá polovině čajové lžičky růžové soli [52].

6.6.2 Sawyer

PointONE™ je filtrační technologie s velikostí pórů 0,1 μm ve vodních filtrech. Filtr zaručuje odfiltrování téměř 100 % všech zdraví škodlivých bakterií (např. salmonely, cholery atd.) a parazitických prvoků. Vyfiltrovaná voda překračuje americké nároky EPA a NSF. Filtr využívá dutá mikrovlákná, jejichž stěny tvoří membrána s velikostí pórů maximálně 0,1 μm [53].

7 PRAKTICKÁ ČÁST

Pro získání představy výtěžnosti vody ze vzduchu jsem se rozhodl provést několik vlastních pokusů, založených na technologiích získávání vody popsanych v kapitole 3. V následujících kapitolách pak budou zaznamenány jednotlivé pokusy. Stěžejním atributem pokusů bylo sestrojení meteostanice, podle které se zpětně dala vyhodnotit průměrná teplota vzduchu a relativní vlhkost vzduchu. Pro pokusy byly použity přístroje:

- Arduino meteostanice
- měřič spotřeby elektrické energie EXTOL LIGHT (43900)
- teploměr Fortum 4780401 s rozsahem měřící sondy $-40 \div 1000$ °C
- digitální multimetr Kraft Werkzeuge JHK-24215
- digitální multimetr Ben electronic M92A
- kuchyňská váha SENCOR SKS 6700BK

Pro měření odvlhčovačů byla použita meteostanice DigiTech bez označení.

7.1 Sestrojení Arduino meteostanice

Arduino je otevřená elektronická platforma, založená na jednoduché počítačové desce a vývojovém prostředí. Počítačová deska získává informace od senzorů a snímačů, a na jejich základě ovládá výstupní piny. Pro vykonávání správných funkcí je nutné vytvořit program pro mikrokontrolér. K vytvoření programu slouží Arduino software (IDE), který je volně přístupný. Podle připojených čidel se do vývojového prostředí nahrávají knihovny příkazů, které mohou být kvůli veřejné dostupnosti odlišné. K dostání hardwaru jsou tzv. originály a klony. Výhodou Arduina je cenová dostupnost, návody a celé programy na konkrétní aplikace na internetu, a také možnost vytvoření projektů dle vlastních potřeb [54].

K vytvoření meteostanice bylo použito Arduino Uno R3, Arduino LCD displej s rozlišením 16×2 znaky, Arduino SD Shield, modul reálného času Arduino DS1302, čidlo barometrického tlaku Arduino BMP 180 a čidlo teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu Arduino DHT22. Pro čidlo atmosférického tlaku jsou uvedeny parametry v Tabulce 7.2, pro čidlo teploty vzduchu a vlhkosti vzduchu jsou uvedeny parametry v Tabulce 7.1.

Tabulka 7.1 Parametry čidla Arduino DHT22 [55]

Napájecí ss napětí [V]	3,3 ÷ 6
Proud při měření [mA]	1 ÷ 1,5
Rozsah měření relativní vlhkosti [%]	0 ÷ 100
Přesnost měření relativní vlhkosti [%]	±2
Rozlišení měření relativní vlhkosti [%]	0,1
Rozsah měření teploty [°C]	-0,5
Přesnost měření teploty [°C]	-40 ÷ 80
Rozlišení měření teploty [°C]	0,1
Perioda měření [s]	2

Tabulka 7.2 Parametry čidla Arduino BMP 180 [56]

Napájecí ss napětí [V]	1,6 ÷ 3,6
Měřicí rozsah tlaku [hPa]	300 ÷ 1100
Rozlišení tlaku [hPa]	0,01
Přesnost tlaku [hPa]	0,02
Proud při měření [μA]	0,5

Meteostanice byla naprogramována tak, aby zaznamenávala každou minutu pořadové číslo měření, datum, čas, teplotu vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, atmosférický tlak a teplotu rosného bodu. Při měření displej zobrazoval teplotu vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, atmosférický tlak a vypočtenou hodnotu teploty rosného bodu podle rovnice 2.21. Pro nedostatečné napájení z 9 V baterie byl použit stabilizátor napětí 9 V, 2 A. Zdrojový kód pro Arduino je uveden v Příloze B. Na Obrázku 7.1 je zobrazena meteostanice.



Obrázek 7.1 Arduino meteostanice

7.2 Vodní harfa

Podle kapitoly 4.8 jsem sestrojil vlastní vodní harfu vyrobenou z dřevěného rámu s kytarovými strunami ukotvenými v profilu na sádkarton CD 60 a na druhé straně v dřevěném rámu. Okno rámu mělo plochu $0,25 \text{ m}^2$. Použité struny byly $0,23 \div 1,43 \text{ mm}$ široké v průměru. Za sledované období sedmi dní harfa neprojevila svou funkčnost. Záznam počasí je uveden v Příloze C.

Tabulka 7.3 Průměrné hodnoty počasí při měření vodní harfy

$t_{\text{prum}} (^{\circ}\text{C})$	$\phi_{\text{prum}} (\%)$	$p_{\text{prum}} (\text{Pa})$	$t_{\text{rb,prum}} (^{\circ}\text{C})$
5,77	74,58	98 445	1,1



Obrázek 7.2 Vodní harfa

7.3 Silikagel

Dle kapitoly 3.1 jsem provedl třídní měření na sáčku se silikagelem s označením PINGI AutoDry. Za tuto dobu byl silikagel schopen pojmout 12 gramů vody. Záznam počasí je uveden v Příloze C.

Tabulka 7.4 Průměrné hodnoty počasí při měření silikagelu

$t_{\text{prum}} (^{\circ}\text{C})$	$\phi_{\text{prum}} (\%)$	$p_{\text{prum}} (\text{Pa})$	$t_{\text{rb,prum}} (^{\circ}\text{C})$
7,71	55,12	98 685	-1,18

7.4 Glycerol

Dle kapitoly 3.2 jsem provedl třídní měření na glycerínu. Za tuto dobu byl glycerol schopen pojmout 41 g vody. Záznam počasí je uveden v Příloze C. Za dalších 12 dní byl glycerol schopen pojmout dalších 63 g, hodnoty počasí už nebyly sledovány.

Tabulka 7.5 Průměrné hodnoty počasí při měření glycerolu

$t_{\text{prum}} (^{\circ}\text{C})$	$\phi_{\text{prum}} (\%)$	$p_{\text{prum}} (\text{Pa})$	$t_{\text{rb,prum}} (^{\circ}\text{C})$
22,49	46,07	97 419	10,28

7.5 Kompresorové chlazení – mrazák

Dle kapitoly 3.4 jsem nechal vychladit mrazák po dobu sto deseti minut na teplotu výparníku -19°C . Spotřebovaná energie byla 0,238 kWh. Poté jsem otevřel dvířka, aby na chladné plochy mohl proudit vlhký vzduch. Po pěti minutách jsem zaznamenával teplotu vzduchu ve vzdálenosti 5 cm od výparníku rtuťovým teploměrem po dobu jedné hodiny. Průměrná teplota byla $4,2^{\circ}\text{C}$. Za sledovaných 60 minut spotřeboval mrazák 0,179 kWh elektrické energie. Jeho štítkový příkon byl 245 W. Celková spotřeba energie tedy byla 0,417 kWh a získaný objem vody 35 ml. Hodnoty jsou uvedeny v Příloze C.

Tabulka 7.6 Průměrné hodnoty počasí při měření mrazáku

$t_{\text{prum}} (^{\circ}\text{C})$	$\phi_{\text{prum}} (\%)$	$p_{\text{prum}} (\text{Pa})$	$t_{\text{rb,prum}} (^{\circ}\text{C})$
13	38,52	96 930	-0,79

Poté jsem zkusil pouze nechat mrazák vychladit za 60 minut se spotřebou elektrické energie 0,130 kWh, otevřít dvířka pro napuštění vlhkého vzduchu a opět je zavřít. Měření bylo bezvýsledné, protože byla nízká hodnota relativní vlhkosti vzduchu nebo při oteplování mrazáku vlhkost unikla skrze špatná těsnění.

Tabulka 7.7 Hodnoty počasí při měření zavřeného mrazáku

$t (^{\circ}\text{C})$	$\phi (\%)$	$p (\text{Pa})$	$t_{\text{rb}} (^{\circ}\text{C})$
14,3	34,5	96 976	-1,11

Při uvážení průměrné ceny energie za rok 2020 by vyrobení jednoho litru vyšlo přibližně na 38,24 Kč bez DPH.

7.6 Termoelektrické chlazení

7.6.1 Autolednice INDEL FRIGOCAT 7L

Dle kapitoly 3.3.3 jsem provedl měření na lednici určené do aut. Záznam o počasí a naměřených hodnotách je uveden v Příloze C. Chladicí plocha byla o velikosti 1200 cm^2 . Měření teploty t_1 probíhalo přímo v místě chlazení.

Tabulka 7.8 Průměrné hodnoty počasí při měření autolednice

$t_{\text{prum}} (^{\circ}\text{C})$	$\phi_{\text{prum}} (\%)$	$p_{\text{prum}} (\text{Pa})$	$t_{\text{rb,prum}} (^{\circ}\text{C})$
17,45	60,18	97 259	9,66

Tabulka 7.9 Průměrné hodnoty napájení a teploty autolednice

$t_{1,\text{prum}} (^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{prum}} (\text{A})$	$U_{\text{prum}} (\text{V})$
-0,7	1,45	11,87

Po měření dlouhém 130 minut v lednici zkondenzoval 1 ml vody. Tento způsob kondenzace je velmi neúčinný. Cena za energii při získání jednoho litru vody by byla přibližně 120 Kč.

7.6.2 Peltierův článek

Pro porovnání jsem provedl měření na Peltierově článku s vlastní výrobou chladičů. Teplá strana chladiče byla chlazena nezávislým ventilátorem o příkonu 30 W. Naměřené hodnoty jsou opět uvedeny v Příloze C. Za měření dlouhé 130 minut spotřeboval přídavný ventilátor 0,066 kWh a byly získány 2 ml vody.

Tabulka 7.10 Průměrné hodnoty počasí při měření Peltierova článku

$t_{\text{prum}} (^{\circ}\text{C})$	$\phi_{\text{prum}} (\%)$	$p_{\text{prum}} (\text{Pa})$	$t_{\text{rb,prum}} (^{\circ}\text{C})$
11,78	82,06	97 413	8,82

Tabulka 7.11 Průměrné hodnoty napájení a teploty Peltierova článku

$t_{1,\text{prum}} (^{\circ}\text{C})$	$t_{2,\text{prum}} (^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{prum}} (\text{A})$	$U_{\text{prum}} (\text{V})$
2,3	18,3	2,18	11,11



Obrázek 7.3 Peltierův článek

7.7 Odvlhčovače vzduchu

7.7.1 DeLonghi DNC 65

Následující měření bylo provedeno pro odvlhčovač vzduchu z kapitoly 4.12.1. Meteostanice byla umístěna ve vzdálenosti 60 cm. Zvolený režim odvlhčování AUTO. Desetiminutový záznam měření je uveden v Příloze C. Za dvě hodiny provozu při průměrné teplotě vzduchu 24,7 °C a průměrné relativní vlhkosti 47 % odvlhčovač spotřeboval 0,499 kWh elektrické energie. Výtěžek byl 170 ml vody. Při uvažované ceně elektřiny za rok 2020 to odpovídá ceně 9,42 Kč bez DPH za litr.

Meteostanice byla umístěna ve vzdálenosti 60 cm. Zvolený režim odvlhčování AUTO. Desetiminutový záznam měření je uveden v Příloze C. Za čtyři hodiny provozu při průměrné teplotě vzduchu 24,8 °C a průměrné relativní vlhkosti 50 % odvlhčovač spotřeboval 1,053 kWh elektrické energie. Výtěžek vody byl 443 ml. Při uvažované ceně elektřiny za rok 2020 to odpovídá ceně 7,63 Kč bez DPH za litr.

Meteostanice byla umístěna ve vzdálenosti 160 cm. Zvolený režim odvlhčování MAX. Záznam měření je uveden v Příloze C. Za osm hodin provozu při průměrné teplotě vzduchu 24,3 °C a průměrné relativní vlhkosti 43 % odvlhčovač spotřeboval 4,224 kWh elektrické energie. Výtěžek byl 1330 ml vody. Při uvažované ceně elektřiny za rok 2020 to odpovídá ceně 10,19 Kč bez DPH za litr.

7.7.2 DOMO DO342DH

Pro odvlhčovač Domo s parametry popsány v kapitole 4.12.2 proběhlo obdobné měření jako pro odvlhčovač DeLonghi v předchozí kapitole. Při prvním dvouhodinovém měření režimem odvlhčování na 50 % odvlhčovač získal 1000 ml vody při průměrné teplotě vzduchu 24,8 °C a při průměrné relativní vlhkosti vzduchu 51 %. Spotřebovaná energie byla 0,786 kWh. Při úvaze ceny energie z roku 2020 vyšel litr vody na 2,52 Kč bez DPH.

Při druhém čtyřhodinovém měření režimem odvlhčování na 45 % odvlhčovač získal 2090 ml vody při průměrné teplotě vzduchu 24,6 °C a při průměrné relativní vlhkosti vzduchu 51 %. Spotřebovaná energie byla 1,559 kWh. Při úvaze ceny energie z roku 2020 stál litr vody 2,39 Kč bez DPH.

Při třetím osmihodinovém měření režimem odvlhčování na 35 % zkondenzoval odvlhčovač 2820 ml vody za 3,068 kWh elektrické energie. Průměrná teplota vzduchu dosahovala 24,4 °C a průměrná relativní vlhkost vzduchu byla 39 %. Při ceně energie 3,21 Kč bez DPH za 1 kWh vyšel litr vody na 3,49 Kč bez DPH.

7.8 Vyhodnocení pokusů

Následující tabulka slouží k přehlednému vyhodnocení naměřených hodnot a efektivity zařízení.

Tabulka 7.12 Vyhodnocení vlastních pokusů

Zařízení	Výtěžnost vody [ml]	Spotřebovaná energie [kWh]	Čas měření [min]	Cena bez DPH [Kč/l]
Mrazák	35	0,417	170	38,24
Autolednice	1	0,037	130	118,77
Peltierův článek	2	0,118	130	189,39
DeLonghi DNC 65	170	0,499	120	9,42
DeLonghi DNC 65	443	1,053	240	7,63
DeLonghi DNC 65	1 330	4,224	480	10,19
DOMO DO342DH	1 000	0,786	120	2,52
DOMO DO342DH	2 090	1,559	240	2,39
DOMO DO342DH	2 820	3,068	480	3,49

Protože nebyly uskutečněny všechny pokusy za stejných podmínek, nelze mezi všemi zařízeními porovnávat jednotlivá kritéria. Rozhodujícím kritériem pro funkčnost a efektivitu zařízení je cena získaného litru vody. Ceny jednotlivých získaných litrů vody jsou však velmi odlišné. Proto je lze porovnat z hlediska principu, kterým by byly získány. Z Tabulky 7.12 je zřejmé, že termoelektrické chlazení je nejnákladnější. Opakem je kompresorové chlazení, které je nejméně nákladné.

Kdybychom se rozhodli využít odvlhčovač DOMO DO342DH k získávání pitné vody, bylo by zapotřebí k nákladům na získání vody připočítat ještě náklady na úpravu vody. Pro zajištění pitného režimu by byl tento odvlhčovač dostatečný.

8 VYUŽITÍ OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ

Za obnovitelný zdroj se považuje zdroj, který je schopen se částečně nebo úplně obnovit. Mezi obnovitelné zdroje energie řadíme například slunce, vodu, vítr, biomasu a geotermální energii. S ohledem na zhoršující se klimatické podmínky, uvědomění si ubývání neobnovitelných zdrojů a v zájmu zachování trvale udržitelného rozvoje, se z rostoucího zájmu o obnovitelné zdroje stává fenomén dnešní doby. Využití obnovitelných zdrojů je tak jedinou cestou k zachování biodiverzity a podmínek existence.

Pro účel této bakalářské práce je třeba se zaměřit na obnovitelné zdroje, které nejsou striktně závislé na aktuální poloze zařízení a dají se snadno využít a instalovat. To znamená, že se jedná o fotovoltaické panely a větrné turbíny s vhodnou akumulací elektrické energie.

Podle určení energetické náročnosti atmosférických generátorů a odvlhčovačů vzduchu je nutné počítat se spotřebou elektrické energie okolo $0,4 \div 0,8 \text{ kWh} \cdot \text{l}^{-1}$. Vybudování vlastního napájecího zdroje by bylo velmi nákladné a rozměrné. Po zavedení dotací na obnovitelné zdroje k tomuto využití bude dostupnější využívat obnovitelné zdroje energie pro výrobu energie za účelem získání vody nekonvenčním způsobem. Potenciální využití by generátory mohly najít na farmách, kde jsou velké a dlouhé budovy, a nebyl by problém s místem pro zdroj elektrické energie.

V současné době lze s tímto řešením počítat pouze pro krizové situace, kdy se jedná o sezonní vysychání studen, havárie na vodovodu, zamoření zdroje pitné vody atd, kdy náklady na dopravu pitné vody jsou neúnosné, a proto se napájení z napájecí sítě zanedbává. Atmosférické generátory vznikly za účelem řešení akutního nedostatku vody, jejich napojení a trvalý provoz na obnovitelné zdroje je zatím předmětem zkoumání.

Voda má velké latentní teplo, proto pokud to není nutné, je lepší se zaměřit na úpravu vody než na její samotné získávání.

Podle dostupného zdroje vody je nutné zvolit vhodný způsob její úpravy. Voda získaná zachytáváním deště je obvykle kvalitní, takže na její úpravu stačí zvolit vhodnou konfiguraci filtrů a malé čerpadlo o výkonu do 100 W, na jehož napájení stačí zdroj čítající jeden fotovoltaický panel s malou akumulací energie a potřebným měničem.

Fotovoltaická elektrárna je obvykle složena z fotovoltaického panelu nebo vhodné kombinace množství podle potřebného výkonu, měniče a střídače podle potřeby, akumulátoru s regulátorem a nosných konstrukcí pro tato zařízení.

Pokud bychom měli přístup ke znečištěné vodě, na jejíž úpravu by bylo nutné použít reverzní osmózu, pořád by byly náklady na pořízení napájecího zdroje s akumulací malé ve srovnání s nutností vodu získat.

Pro kvalitní vodu je doporučená konfigurace filtrů ve složení sedimentační filtr, uhlíkový filtr, mineralizátor a kokosový filtr ve funkci uhlíkového post-filtru doplněný

UV lampou. Pro nekvalitní vodu se za uhlíkový filtr řadí reverzní osmóza. Při aplikaci tohoto postupu je nutné počítat s odpadní vodou o objemu až 90 %.

ZÁVĚR

V současné době probíhají návrhy na přepracování atmosférických generátorů vody pro využití v našich klimatických podmínkách za nižších teplot vzduchu a nižší vzdušné relativní vlhkosti, než na které jsou navrženy. Nabízí se kombinace kompresorového chlazení a adsorpčních systémů pro maximální využití potenciálu vody ve vzduchu. Dalším předmětem návrhů je využití obnovitelných zdrojů pro napájení AWG. Jedná se o sluneční a větrnou energii. V budoucnu, kdy by mohly být atmosférické generátory vody běžně používány pro stacionární provoz, by mohly být napájeny geotermální energií s využitím absorpčního chladicího oběhu.

Kompresorové chlazení využitě v atmosférických generátorech vody je zatím nejlevnější a nejefektivnější způsob získávání vody ze vzduchu. Energetická náročnost se pohybuje v rozmezí $0,3 \div 0,7 \text{ kWh} \cdot \text{l}^{-1}$, což odpovídá ceně $0,96 \div 2,25 \text{ Kč}$ bez DPH.

V návaznosti na provedená měření bylo zjištěno, že nejméně energeticky náročným zařízením k získání jednoho litru vody je kompresorové zařízení, konkrétně použitý odvlhčovač DOMO DO342DH, který požadovaný objem vyrobí za $2,39 \text{ Kč}$ bez DPH. Druhým nejméně nákladným zařízením je odvlhčovač, pracující na adsorpčním principu, který jeden litr vody získá za cenu $7,63 \text{ Kč}$. Jako nákladné se prokázalo získání vody pomocí mrazáku, který k tomuto účelu není určený, za cenu $38,24 \text{ Kč}$ bez DPH. Bylo dokázáno, že chlazení pomocí Peltierových článků, založených na termoelektrickém jevu, je velmi nákladné. Cena získaného litru vody pro autolednici je $118,77 \text{ Kč}$ bez DPH a pro Peltierův článek s vlastní konstrukcí chladičů $189,39 \text{ Kč}$ bez DPH. Získávání vody tímto způsobem je velmi neekonomické.

Výsledky měření jsou ovlivněny nestejnorodostí podmínek, za kterých byly uskutečněny, a proto lze předpokládat, že v ideálních podmínkách by se hodnoty výtěžnosti vody lišily.

Předmětem zkoumání byla také zařízení, které ke své funkci nepotřebují elektrickou energii. Vodní harfa, která vyžaduje pouze úpravu získané vody, nebyla funkční. Použití malého množství silikagelu by vyžadovalo 250 dní na získání jednoho litru vody. Použití 771 gramů glycerolu by vyžadovalo přes 144 dní na získání jednoho litru vody. Navázanou vodu by bylo třeba vhodným způsobem nechat odpařit a zkondenzovat. Poté upravit k použití jako vody pitné. Tyto způsoby získávání vody se prokázaly jako neefektivní, nicméně možné.

V této bakalářské práci byly zmapovány systémy získávání vody nekonvenčními způsoby, což bylo jejím hlavním cílem. Dále je třeba prozkoumat vlivy slunečního záření a vanutí větru, které ovlivňují parametry vlhkého vzduchu.

Vodu získanou kondenzací lze považovat za vodu relativně čistou. Stačí proto jednoduché úpravy filtrováním, mineralizováním a následné ošetření UV lampou pro odstranění nežádoucích bakterií.

Vzhledem k náročnosti na spotřebovanou elektrickou energii, nezbytnou při kompresorovém chlazení pro získání vody, není zatím vhodné využití obnovitelných zdrojů. K využití solární energie je nutné osazení příliš velké plochy, například fotovoltaickými panely. Větrná energie dle členitosti reliéfu České republiky není využitelná ve všech místech spotřeby, například v údolích.

NÁVRH

Atmosférické generátory vody jsou často zastřešovány pro ochranu před povětrnostními vlivy. Nabízí se, vzhledem k vybavenosti generátorů filtračním zařízením, sbírat vodu ze zastřešení, a kladně tak přispět k celkové výtěžnosti vody, která bude zahrnovat pouze náklady na úpravu.

LITERATURA

- [1] Koloběh vody v přírodě. *EkoLid.cz* [online]. 2016 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.ekolid.cz/kolobeh-vody-v-prirode/>
- [2] Voda na Zemi. *Is.muni.cz: Klimatologie a hydrogeografie pro učitele* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/07-voda.html
- [3] Kolobeh vody. *Quark* [online]. 2016 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: https://www.quark.sk/klesa-teplota-atmosfere-vo-vyskach-10-do-15-kilometrov/kolobeh_vody/
- [4] HAMERSKÝ, Tomáš. Energetická náročnost získávání vody kondenzací vzdušné vlhkosti. Brno, 2019. 145 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
- [5] Složení atmosférického vzduchu. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/74-slozeni-atmosferickeho-vzduchu>
- [6] Teorie vlhkého vzduchu (I). *Tzbinfo* [online]. 2006 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3323-teorie-vlhkeho-vzduchu-i>
- [7] Termomechanika. *Fme.vutbr.cz* [online]. 2013 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: https://eu.fme.vutbr.cz/userfiles/Mauder/files/V%C3%BDukov%C3%A1_prezentace_termomechanika_Pavelek.pdf
- [8] Vlhký vzduch. *Fme.vutbr.cz* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: https://eu.fme.vutbr.cz/userfiles/Mauder/files/Prezentace-IVK-Vlhky_vzduch.pdf
- [9] Kolik vody se dá získat z krychlového metru vzduchu? *Přírodovědci.cz* [online]. 2014 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.prirodovedci.cz/zeptajte-se-prirodovedcu/500>
- [10] Dry Bulb, Wet Bulb and Dew Point Temperatures. *The Engineering ToolBox* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/dry-wet-bulb-dew-point-air-d_682.html
- [11] Teorie vlhkého vzduchu (III). *Tzbinfo* [online]. 2006 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3382-teorie-vlhkeho-vzduchu-iii>
- [12] Energetická bilance sněhové pokrývky: Latentní teplo. *Hydrologie sněhu* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/snowmelt/navmenu.php_tab_1_page_4.2.0.htm
- [13] Evaluation of using thermoelectric coolers in a dehumidification system to generate freshwater from ambient air. *ScienceDirect* [online]. 2011 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250911001059>
- [14] Silikagely. *Silcarbon* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.silcarbon.cz/inpage/silikagely/>
- [15] SOLNÝ, T. Nemrznoucí teplotnosné kapaliny na bázi polyolů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2012. 53 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Josef Kotlík, CSc.
- [16] Peltierovy termobaterie. *Vyvoj.hw.cz* [online]. 1999 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/peltierovy-termobaterie.html>

- [17] Chladicí oběhy, trigenerace, dálkové chlazení. *Tzbinfo* [online]. 2011 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/7910-chladici-obehy-trigenerace-dalkove-chlazení>
- [18] Voda ze vzduchu: 4 technologie, které mohou pomoci řešit problém s nedostatkem vody. *Elekřina.cz* [online]. 2011 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/voda-ze-vzduchu>
- [19] Bezdná láhev pro cyklisty: vyrábí vodu ze vzduchu za jízdy na kole. *ExtraStory.cz* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.extrastory.cz/bezdna-lahav-pro-cyklisty-vyrabi-vodu-ze-vzduchu-za-jizdy-na-kole>
- [20] Billboard v Peru vyrábí pitnou vodu ze vzduchu. *IDnes.cz* [online]. 2014 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/technet/technika/billboard-na-vodu.A140116_160837_tec_technika_vse
- [21] A Billboard That Condenses Water From Humidity. *Popular mechanics* [online]. 2013 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.popularmechanics.com/science/green-tech/a8875/a-billboard-that-condenses-water-from-humidity-15393050/#ixzz2qZdNzZBO>
- [22] Vědci našli nekonečný zdroj pitné vody pro pouště. *Ekologickébydlení.eu* [online]. 2016 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <http://www.ekobydlení.eu/zivotni-prostredi/vedci-nasli-nekonecny-zdroj-pitne-vody-pro-pouste>
- [23] Wind-powered Water Seer pulls 11 gallons of clean drinking water from thin air. *INHABITAT* [online]. 2016 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://inhabitat.com/wind-powered-water-seer-produces-11-gallons-of-clean-drinking-water-from-the-air/>
- [24] Nezahlajte si na ni, ale zato se z ní napijete. Vodní harfa může spasit nejsušší místa na Zemi. *Radiožurnál* [online]. 2020 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://radiozurnal.rozhlas.cz/nezahrajete-si-na-ni-ale-zato-se-z-ni-napijete-vodni-harfa-muze-spasit-nejsussi-8207391>
- [25] Zero Mass Water's Hydropanels Pull Water From Thin Air At #CES2019. *CleanTechnica* [online]. 2019 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://cleantechnica.com/2019/01/11/zero-mass-waters-hydropanels-pull-water-from-thin-air-at-ces2019/>
- [26] Austrálie vyřešila nedostatek pitné vody pomocí solárně napájených panelů. *Diit.cz* [online]. 2018 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://diit.cz/clanek/australie-vyresila-nedostatek-pitne-vody-pomoci-solarne-napajenych-panelu>
- [27] AKTUALITY: S. A. W. E. R. – technologie kultivace pouště. *FAKULTA STROJNÍ ČVUT V PRAZE* [online]. 2017 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/aktuality/636-212/>
- [28] Mladí Češi vyvinuli ždímačku vzduchu, na poušti vyrobí litry pitné vody. Zájem už má český výrobce. *StartupJobs* [online]. 2021 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.startupjobs.cz/newsroom/mladi-cesi-vyvinuli-zdimacku-vzduchu-na-pousti-vyrobi-litry-pitne-vody-zajem-uz-ma-cesky-vyrobce>

- [29] De'Longhi DNC 65. *Alza.cz* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: https://www.alza.cz/de-longhi-dnc-65-d436837.htm?kampan=adw2_domaci-elektro_bee_pro_zdravi-dead_domaci-elektro-delonghi-dnc-65-eaz8006&ppcbee-adtext-variant=ad3&gclid=CjwKCAjwy42FBhB2EiwAJY0yQh9xUYRJ6JOOo7aTbg5v1vjKaEjQdMLDm6ReJ47hTADTCeBMdWfCxoCTacQAvD_BwE
- [30] DOMO DO342DH. *Alza.cz* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: https://www.alza.cz/domo-do342dh-d4016842.htm?kampan=adw2_domaci-elektro_bee_pro_zdravi-dead_domaci-elektro-domo-do342dh-doodv001&ppcbee-adtext-variant=responsive-ad-text-1&gclid=CjwKCAjwy42FBhB2EiwAJY0yQkNy5kegL618_3k5wPbrLRoOISw6dcgYis4zki4dZPHiryKBv8rQExoCG6QQAvD_BwE
- [31] Skywell – generátor vody vytváří vodu ze vzduchu ve vaší kanceláři. SHARP [online]. 2018 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.sharp.cz/cps/rde/xchg/cz/hs.xsl/-/html/skywell--generator-vody-vytvari-vodu-ze-vzduchu-ve-vasi-kancelari.htm>
- [32] Skywell 5TE Atmosférický generátor vody. SHARP [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: http://www.preko.sk/pdf/18968%20Skywell%20Brochure%204pp_SK_print.pdf
- [33] GEN-L. Watergen [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.watergen.com/commercial/gen-l/>
- [34] GEN-M Mobile Trailer. Watergen [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.watergen.com/commercial/gen-m-mobile-trailer/>
- [35] GEN-M. Watergen [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.watergen.com/commercial/gen-m/>
- [36] GEN-M1. Watergen [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.watergen.com/commercial/gen-m1/>
- [37] WFC Series Atmospheric Water Generators (50 Hz)—Made in USA. Canadian Dew Technologies Inc. [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.candew.ca/wfc-series-awgs-50-hz.html>
- [38] Atmosférické generátory vody Query®Water nabízí zajímavá řešení. *Cysnews.cz* [online]. 2019 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.cysnews.cz/lifestyle/atmosfericke-generatory-vody-querywater-nabizi-zajimava-reseni/>
- [39] Filip Mikulénka. *BP - představení společnosti* [online]. Message to: Jan Patera. 25.05.2021 [cit. 2021-5-30].
- [40] Výroba vody. *ECOONE* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.cysnews.cz/lifestyle/atmosfericke-generatory-vody-querywater-nabizi-zajimava-reseni/>
- [41] Vodné a stočné 2020: Víme, kolik stojí kubík v 225 městech. *Elektrina.cz* [online]. 2020 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/kubik-vody-vodne-stocene-2020-v-ceskych-mestech>
- [42] ARCHIV HODNOT - GRAFICKÉ A TABULKOVÉ ROZHRAŇÍ. *TECHNIKA PROSTŘEDÍ* [online]. 2021 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.qpro.cz/Archiv-teploty-vlhkosti-tlaku-v-Chlumci>

- [43] Spotřeba vody. *SČVK* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.scvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>
- [44] QUERY®WATER QW1000: Technický list Atmosférický generátor vody „AWG“. *QUERY WATER* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: https://querywater.cz/wp-content/uploads/2021/05/ECOONE_QUERY%C2%AEWATER-QW1000_CZ.pdf
- [45] QUERY®WATER 1000L. *ECOONE* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://ecooneworld.com/query-water-1000l>
- [46] Aktuální cena elektřiny za kWh v roce 2021. *Nasetřeno.cz* [online]. 2021 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.nasetreno.cz/cena-elektřiny/>
- [47] Filip Mikulenka. *Informace ke QueryRwateru* [online]. Message to: Jan Patera. 21.05.2021 [cit. 2021-5-30].
- [48] Vyhláška č. 252/2004 Sb. kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: https://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-252-2004-sb-ktouhou-se-stanovi-hygienicke-pozadavky-na-pitnou-a-teplou-vodu-a-cetnost-a-rozsah-kontroly-pitne-vody?fbclid=IwAR0ss4Yyixb4l7nlFrW4gu-GGkk_xLhWbcBoLoirGoS9QgA9IaA3Efevb2Q
- [49] Proč mít či nemít filtr: Reverzní osmóza, co to je a jak vlastně funguje. *Vše pro kvalitní domácí úpravu pitné vody* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <http://www.filtrpitnevody.cz/proc-mit-ci-nemit-filtr/o-reverzni-osmoze/>
- [50] Filtrační stupně RO. *REVERZNÍ OSNÓZY* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.reverzni-osmozy.cz/filtracni-stupne>
- [51] Environmental Solutions for a More Productive World. *OMYA* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://environmental-solutions.omya.com/>
- [52] Himalájská sůl a její přínos pro naše zdraví. *VyváženéZdraví* [online]. 2015 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <http://www.vyvazenezdravi.cz/himalajska-sul-jeji-prinos-pro-nase-zdravi>
- [53] FILTRACE VODY. *BUSHCRAFT shop.cz: SAWYER* [online]. [cit. 2021-05-30]. Dostupné z: https://www.bushcraftshop.cz/FILTRACE-VODY-c47_0_1.htm?gclid=Cj0KCQiAxxrbwBRCoARIsABEc9siU-OX8b-xxVmxpz3tCRmKnzcu5B2rGx5-5HNcIkLxP4LNBdUoYfaAaAgr7EALw_wcB
- [54] Co je to arduino? *BASTLÍRNA HW KITCHEN* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://bastlirna.hwkitchen.cz/co-je-to-arduino/>
- [55] SNÍMAČ TEPLoty A VLHKOSTI DHT22. *HW KITCHEN* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://www.hwkitchen.cz/snimac-teploty-a-vlhkosti-dht22/>
- [56] Senzor na měření teploty a tlaku BMP180. *Pájeničko.cz* [online]. [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://pajenicko.cz/senzor-na-mereni-teploty-tlaku-bmp180>

SEZNAM SYMBOLŮ, ZKRATEK A INDEXŮ

Zkratky:

AWG	Atmospheric water generator
EPA	Environmental Protection Agency
MAGDA	Mobile Autonomous Water Generator from Desert Air
NSF	National Science Foundation
S. A. W. E. R.	Solar Air Water Energy Resource
UV	ultrafialové

Symboly:

U	napětí	(V)
I	proud	(A)
c	konstanta	(-)
H	nadmořská výška	(m)
I	entalpie	(J)
m	hmotnost	(kg)
p	tlak	(Pa)
r	plynová konstanta	(J·kg ⁻¹ ·m ⁻¹)
t	teplota	(°C)
T	absolutní teplota	(K)
V	objem	(m ⁻³)
x	měrná vlhkost vzduchu	(g·kg _{sv} ⁻¹)
ρ	hustota	(kg·m ⁻³)
ϕ	relativní vlhkost vzduchu	(%)
t	čas	(s)

Indexy:

i	i-té pořadí
sv	suchý vzduch
p	pára
k	kapalina
t	tuhá forma
0	základní stav
abs	absolutní
“	stav sytosti
rb	rosný bod
1	ochlazovaná strana
2	zahříváná strana

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Stanovení energetické náročnosti je uloženo na přiloženém CD

Příloha B – Zdrojový kód Arduino meteostanice je uložen na přiloženém CD

Příloha C – Záznamy z měření jsou uloženy na přiloženém CD